計畫編號：MOTC-DGT-92-003

台灣地區廣播電視電波傳播模式的建立與共站之實測驗證

研究報告

委託單位：交通部電信總局
研究單位：國立台灣大學電信工程學研究所
計畫主持人：李學智　教授
協同主持人：唐震寰　教授
楊成發　教授

中華民國九十二年十二月

目 錄

摘　要----------2
第一章　簡介----------3
第二章　電波傳播模式----------5
第三章　量測系統----------17
第四章　電台共站互調變效應及互調變量測----------64
第五章　軟體模擬與量測結果之比較----------84
第六章　共站規劃及頻率使用方式----------142
第七章　結論----------160
參考文獻----------162

摘　要

本期末報告，第二章簡述了電波傳播模式，包含自由空間傳播模式，地平面反射傳播模式，ITU-R 370 模式，ITU-R 1546 模式，Okumura-Hata 模式，Deygout 模式，Epstein-Peterson 模式，以及 L&S VHF/UHF 模式。第三章簡述了本計畫的量測系統，校正方法以及量測步驟。我們建立了兩套的場強量測系統。第一套系統使用相互垂直的三套天線，包含兩套水平極化的雙偶極天線及垂直極化的單偶極天線，並由三部接收機來量測，以接收不同極化的電波。第二套系統使用自行設計的四隻天線，其中兩隻天線為水平極化的寬頻 flat-plane bow-tie 天線型式，另兩隻為垂直極化的 flat-plane bow-tie 型式的單偶極天線，這四隻天線利用切換開關接到一部場強儀。第四章則討論了共站台所引發的互調變問題。我們在大功率電台林立的竹子山進行互調變量測，並探討天線極化，天線長度，以及與發射站台距離及地形對互調變的影響。我們並提出互調變對飛安影響之評估的作業程序。第五章則比較電波傳播模擬軟體預測結果與量測結果。我們在台灣東部，沿著宜蘭、花蓮、台東的主要公路以及沿著台灣西部的濱海公路及主要省道，量測 FM 電台，VHF，以及 UHF 電視電台信號的場強，並與不同電波傳播模式預測結果比較。結果顯示，不同傳播模式預測結果，其間有極大的差異，平均誤差可能在 20dB 以上。而量測結果則在兩種模式預測值之間。我們亦根據量測結果，提出那種預測模式比較適合那一個共站台。第六章提出了台灣西部共站台的規畫頻率使用方式。我們共規畫了八個共站台位置，分別是五指山、鳶山、老湖口、火焰山、芬園、枕頭山、中寮及潮州。除潮州外，各共站台的地點都是在制高點，54dBm V/m 的電波涵蓋範圍大於現有中功率電台 20Km 半徑的範圍。電波涵蓋範圍的擴大可以增加電台營運的商機，也可以鼓勵現有電台遷入共站台，此外，我們亦提出了電台共站的頻率使用方式。

第一章　簡介

電波傳播模式主要可分為經驗模式以及理論模式。經驗模式乃是根據大量量測的結果，經過統計分析，歸納而得的經驗式，它完全是根據量測的結果，式子本身並沒有賦予任何的物理解釋。經驗式只能應用到類似的傳播環境。因此在應用經驗式時，必須先查明該經驗式可以應用的環境條件，以及擬應用的傳播環境是否符合它的應用條件。理論模式則是依據電磁波傳播的物理特性，推導而得的結果。它提供了電波傳播的物理意義。

電波傳播的研究從早期廣播，電視問世以來即不曾間斷。不管是經驗模式或理論模式，文獻上都有很多的報導。但是由於電波傳播環境非常複雜，變化參數眾多，難以使用精確的公式來加以描述計算。近年來配合電子地圖與傳播理論，電波傳播預測的方法已有極大的進展，但是所使用的理論模式實際上都已經過相當的近似與簡化，因此理論模式預測的準確性，必須由量測結果來加以驗證。在經驗式部份，美國曾經做了大規模的量測而建立了 ITU-R 370 模式，該模式已有商用軟體。然而美國的地形與台灣地形有極大的差異，ITU-R 370 模式對台灣地形的適用性亦需由實測資料來驗證。

台灣電波傳播模式的研究及量測，主持人及團隊過去亦曾參與，亦曾自力建立模擬軟體以及進行量測。然而由於當時量測儀器功能的限制以及量測未能全自動化，僅進行少數特定地點的量測，以做為驗證之用。過去各電台及電波監理單位為了本身業務上的需要亦有各自的場強量測，但是未有單位將各量測資料加以整合分析。

目前台灣的 FM 廣播電台、電視轉播站台、DAB 試播電台、數位電視台數目眾多，分佈於各地，站台天線高度不一，使用頻率範圍寬廣。這些電台所發射的信號，涵蓋範圍廣闊，並且包含各地形。這些電台實在是研究電波傳播，建立電波傳播模式，進行電波量測，最為方便的信號發射源。

近來電波量測儀器日益精進，已配有定位系統及自動量測設備，若能利用全台灣各電台所發送信號的寶貴資源，並配合台灣的數位地形圖，對

各頻段之各電台的場測資料加以統計分析，以驗證文獻上的傳播模式是否適合台灣的特殊地形，更進而建立適合台灣地區的電波傳播模式。這不僅深具學術價值，對於台灣未來無線電波的應用及發展，諸如無線電台的選址，頻譜有效使用管理，電波的監理等等，都有相當的助益。

廣播及電視之共站應是未來的趨勢，它可以有許多的好處，諸如節省 RF 工程人員人事成本，避免各電台受到附近居民抗爭，消除廣播電台鐵塔凌亂現象，有效利用頻譜資源，以及電波管理單純容易等等。但是共站之後亦會伴隨一些問題需要克服解決，例如共站之後可能產生之諧波相互調變，及其對飛航頻道可能產生的干擾。

本計畫的主要工作項目如下：

1.進行台灣地區廣播電視全面的電波場強量測，包括各地區的 FM 廣播電台、數位廣播電台、類比電視電台以及數位電視電台等廣播信號的場強量測。

2.與文獻上的傳播模式以及商用軟體的預測值相比較。並計算不同傳播模式的估測誤差。

3.建立適合於台灣不同地區的電波傳播模式。

4.規劃台灣地區最佳之共站場地及頻率使用模式。

5.就電波場強量測結果進行互調變產生之實驗性分析及背景雜訊之模擬分析。

本期末報告的主要內容如下：

第二章將簡述本計畫擬使用的傳播模式。第三章為場強量測的儀器設備，量測方法校正步驟及校正結果。第四章將簡述互調變基本原理，並在大功率電台林立的竹子山電台附近，進行互調變的量測，同時提出評估共站電台互調變對飛航接收機干擾的作業法則。第五章將描述在台灣東西部的量測路線，比較不同傳播模式的預測結果，並與量測結果相比較。第六章將提出共站規劃及共站電台頻率的使用方式。第七章為結論。

第二章　電波傳播模式

2.1 前　言

在無線通訊系統中，信號在傳送過程中會因電波本身的傳波特性以及周遭環境的不同而產生不同的衰減，進而影響整個系統的效能。因此，如果能建立一套電波傳播模式來描述電波在不同通道中所產生之效應時，我們將可以預估接收機在不同的通道效應中所接收到之信號。以下我們將簡介幾種典型的電波傳播模式。

2.2 自由空間電波傳播模式

在寬廣的地區，電磁波的傳播主要是以直接波為主，而電磁波在自由空間中傳播時，其路徑傳播損失(Path Loss)可表示成：

或
$$L_F = \frac{P_t G_t G_r}{P_r} = \left(\frac{4pR}{l}\right)^2 \qquad (2.1)$$

$$L_F = 32.4 + 20\log R + 20\log f \ \text{(dB)} \qquad (2.2)$$

其中 L_F 為傳播損失，P_t、P_r 為發射與接收功率，G_t、G_r 為發射與接收天線增益，R 為發射機與接收機之距離(km)，f 為頻率(MHz)。

經由上式可知，傳播損失與距離平方成正比；而此傳播模式只適用於短距離且發射機與接收機之間須有直接波到達(LOS)。

2.3 地平面反射傳播模式

在此傳播模式中，它跟自由空間電波傳播不同的，就是它除了考慮接收機所接收到之信號中有直接波成份外，尚有經由地面反射到達的成份，由於當距離很大時，直接波與地面反射波的相位差接近 180 度，形成破壞性干涉。所以它的傳播損失對距離的增加速度會比自由空間的傳播損失來得快，並與載波頻率無關。如圖 2.1 所示，假設發射天線為 h_t、接收天線為 h_r、兩天線之間的距離為 R，當 $h_t * h_r / R^2 << 1$ 時其傳播損失可近似成:

$$L_E(dB) = 40\log R - 20\log h_t - 20\log h_r \quad (2.3)$$

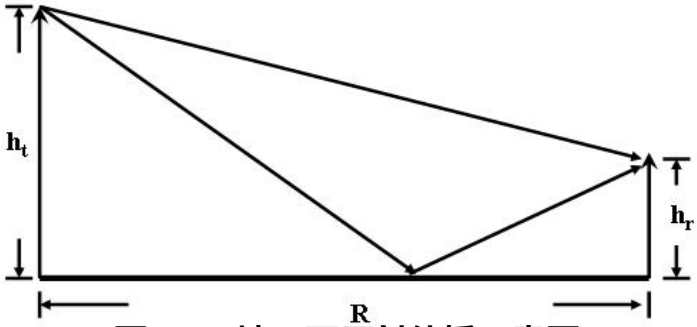


圖 2.1　地平面反射傳播示意圖

由上式可知，地平面反射模式之傳播損失與兩天線之間的距離四次方成正比、且與兩天線高度平方成反比;由此可以看出地平面反射傳播模式的傳播損失對距離的增加速度比自由空間傳播模式來得快。

2.4　ITU-R 370 模式

ITU-R 370 **傳播模式是由國際電信聯合會**(ITU)**所建議之一種電波傳播模式，主要針對的頻率範圍** 30~1000 MHz**、量測距離為** 100~1000 **公里，其中** VHF(80~250MHz)**和** UHF(450~700MHz)**是本計畫量測的主要頻帶。而發射機和接收機的天線高度是由** ITU **所定義, 對於發射天線高度定義為有效天線高度(**h_{eff}**)，所謂有效天線高度就是發射機的天線高度與距離發射天線** 3~15 **公里裡內的平均地表高度去做比較，在平均地表高度之上的高度就是有效天線高度**(m):

$$h_{eff} = h_1 - h_{avg} \quad (2.4)$$

h_1 :**天線高度+所在地點的高度**

h_{avg}:3~15 **公里的平均地表高度**

再來就是接收機的天線高度，它的高度計算方式定義為天線本身的高度就是它的接收天線高度。

下面我們將討論場強的計算，令 x(Km)**表示發射天線與接收天線之間的距離，再根據不同的有效天線高度(**h_{eff}**)去作場強**(dB(uV/m))**的計算，**44

$E(x, h_{eff})$**是場強對於距離** x **與有效天線高度的計算關係式**:

(1)**當有效天線高度介於** 0~37.5 **公尺時**:

$$E(x, h_{eff}) = E[(x + 25 - 4.1\sqrt{h_{eff}}), 37.5] \quad \text{for} \quad x \geq 4.1\sqrt{h_{eff}} \qquad (2.5)$$

$$E(x, h_{eff}) = E(x, 37.5) - E\left(4.1\sqrt{h_{eff}}, 37.5\right) + E(25, 37.5) \quad \text{for} \quad x < 4.1\sqrt{h_{eff}} \qquad (2.6)$$

(2)**當有效天線高度大於** 1200 **公尺時**:

$$E(x, h_{eff}) = E[(x + 142 - 4.1\sqrt{h_{eff}}), 1200] \quad \text{for} \quad x \geq 4.1\sqrt{h_{eff}} \qquad (2.7)$$

$$E(x, h_{eff}) = E(x, 1200) - E\left(4.1\sqrt{h_{eff}}, 1200\right) + E(142, 1200) \quad \text{for} \quad x < 4.1\sqrt{h_{eff}} \qquad (2.8)$$

(3)**當有效天線高度介於** 37.5~1200 **公尺時**:

可以根據(1)**與**(2)**的結果，在不同的有效天線高度下線性內插出場強值。**

如果要估測出更精準的場強，就需要把更多干擾接受的因素考慮進去，其中使用者可以調整場強計算中時間和位置的百分比，針對不同的比例去比較其中的關係，下面是 VHF **和** UHF **在不同的位置百分比的曲線圖如圖** 2.2**、圖** 2.3 **所示**:

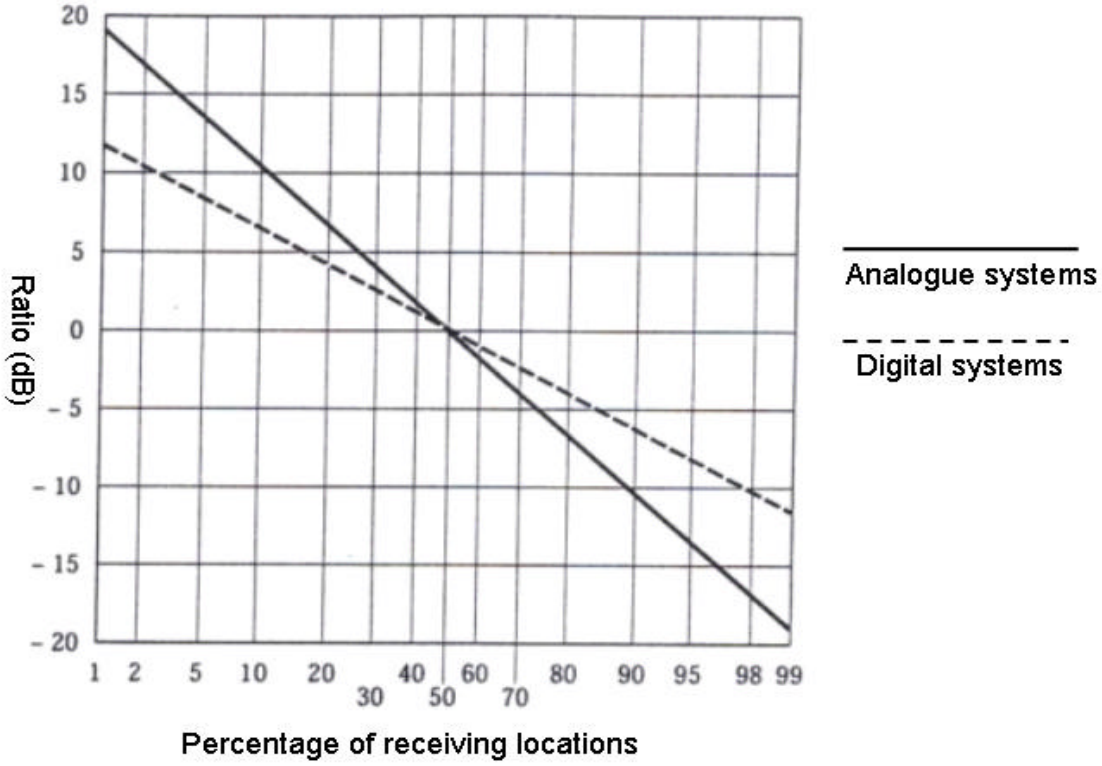


圖 2.2 **位置百分比分佈曲線**(VHF)

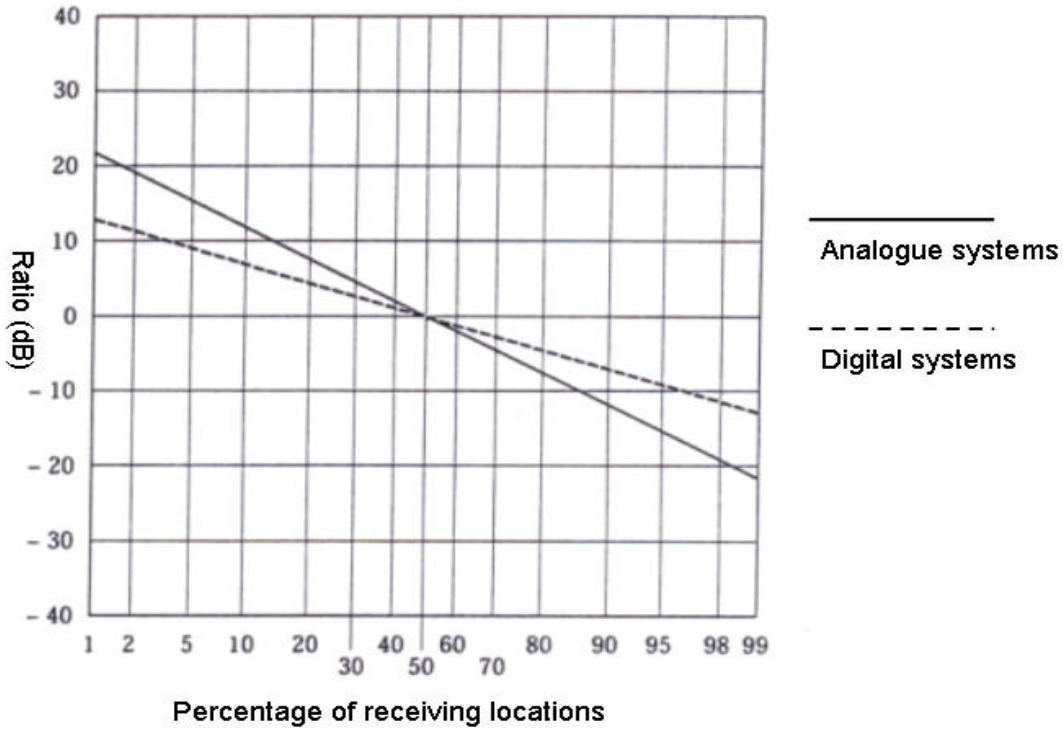


圖 2.3 **位置百分比分佈曲線**(UHF)

Ratio: **位置百分比未給定的場強值/位置給定** 50%**的場強值**

此外還有因距離的不同所造成的場強衰減，也有補償場強值的機制，在這裡叫做衰減校正因子，可以對衰減的場強做適度的補償，它的補償曲線如圖 2.4**、圖** 2.5 **所示**:

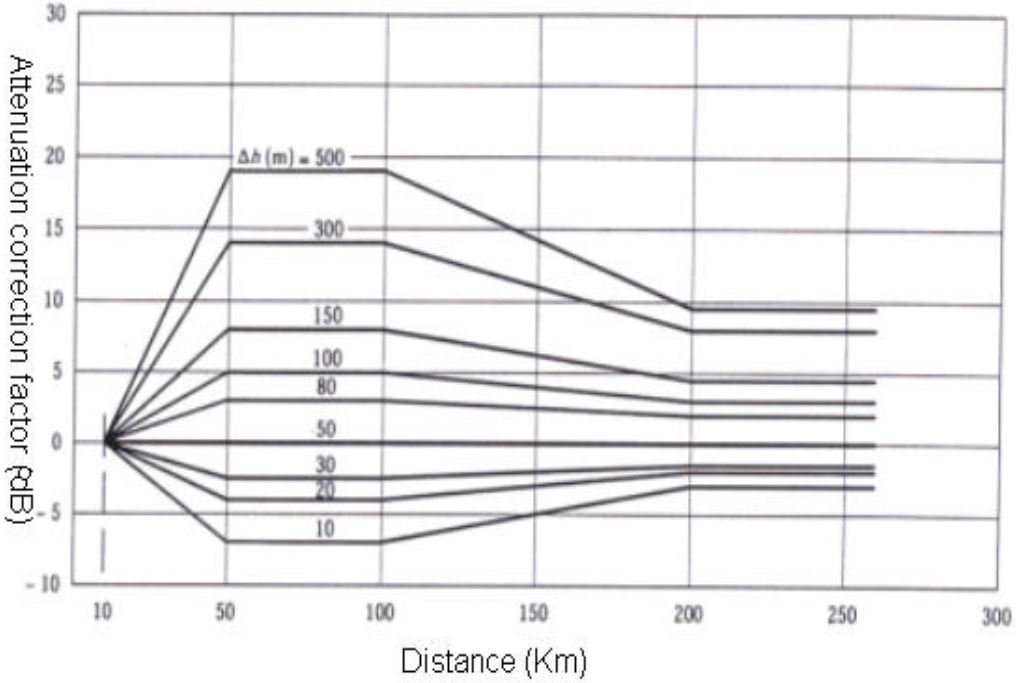


圖 2.4 **衰減校正因子中距離和** Δh **的關係**(VHF)

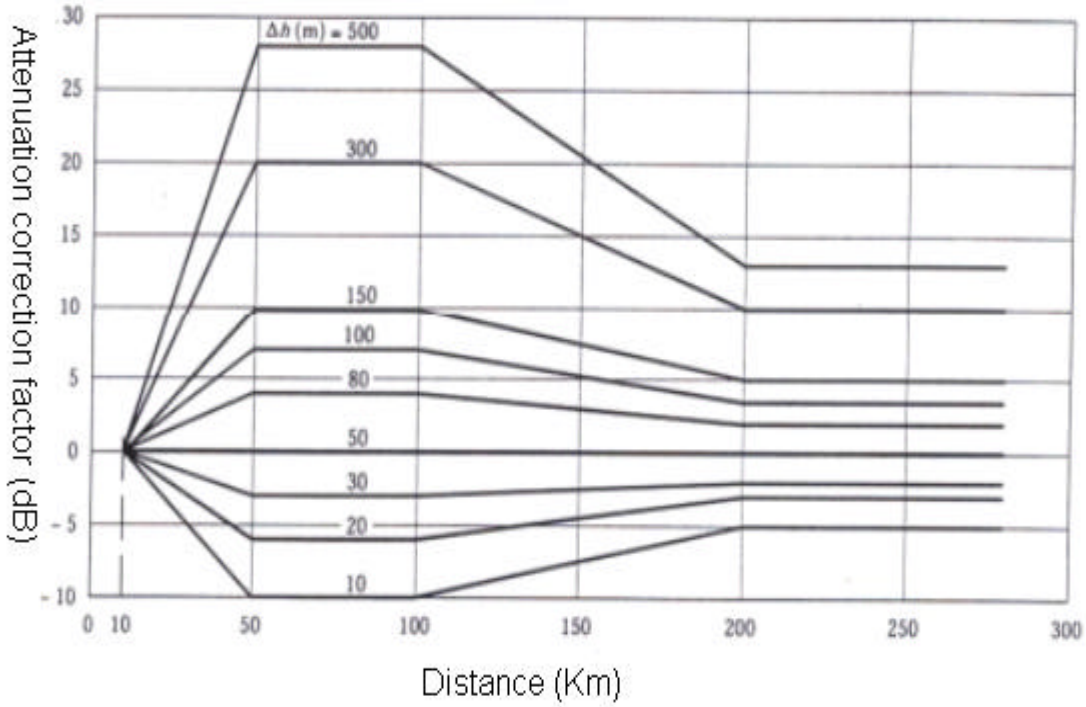


圖 2.5 **衰減校正因子中距離和**Δh**的關係**(UHF)

其中Δh**定義為地形不規則度的等級，對於廣播服務**Δh**主要是應用在距離發射機** 10~50 **公里的距離。**

2.5 ITU-R 1546 模式

ITU-R 1546 **傳播模式是由國際電信聯合會**(ITU)**所建議之一種電波傳播模式，主要針對的廣播頻率範圍** 30~3000 MHz**、量測距離為** 1~1000 **公里, 其中** VHF(80~250MHz)**和** UHF(450~700MHz)**是量測的主要頻帶,** ITU-R 1546 **的功能跟** ITU-R 370 **比較並沒有增加其他特別的功能，只有對個別功能去作更詳細的區分，對於發射機天線高度的計算，它把距離和地形資訊的因素考慮之後，再來決定天線高度**(m):

(1)**當地形資訊無法取得的時候用下列式子去求**:

$$h_1 = h_a \qquad \text{for} \quad d \le 3\text{Km} \qquad (2.9)$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d-3)/12 \qquad \text{for } 3\text{Km} < d < 15\text{Km} \qquad (2.10)$$

h_1:**發射天線高度** h_a:**天線本身高度** h_{eff}:**有效天線高度**

(2) **當地形資訊可以取得的時後用下列式子去求**:

$$h_1 = h_b \tag{2.11}$$

h_b :**天線高度-平均地表高度=發射天線高度**

這裡的平均地表高度是在 0.2d~2d **公里的範圍的平均高度，**d **是發射機與接收機之間的距離。**

(3)**當距離發射機大於** 15 **公里或更多時**:

$$h_1 = h_{eff} \tag{2.12}$$

h_{eff} :**有效天線高度(如** ITU-R370 **模式)**

對於場強的計算方法 ITU-R 1546 **與** ITU-R 370 **大致上是一樣的，比較特別的是加入許多條件的限制，例如:給定了最大的場強值，而最大的場強值是以自由空間傳播模式的場強值為準，這樣可以避免任何的補償機制增加太多的場強值使它超過合理的範圍。**

至於計算場強值中的時間和位置的百分比與衰減校正因子，所考慮的都跟 ITU-R 370 **考慮的一樣，總括來說，**ITU-R 1546 **是加強了** ITU-R 370 **各個功能中的不足，考慮得更為的嚴謹周到，期望把模擬的條件趨近於實際的狀況，進而達到模擬所要的最大效果。**

2.6 Okumura-Hata 模式

Okumura-Hata Model **是根據大量量測的數據，經過統計分析之後所得到的電波傳播經驗公式，傳播損失一般來說傳播損失與發射機和接收機之間的對數成正比，除此之外** Okumura-Hata Model **的傳播損失亦與環境有關，例如:市區、郊區、空曠地區等，頻率、發射天線高度和接收天線高度都有關係。**

在 Okumura-Hata Model **的文獻中有許多實測市區場強的量測曲線，根據這些曲線可以得到** Okumura-Hata Model **的基本公式**:

$$L_b(dB) = 69.55 + 26.16\log f_c - 13.82\log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55\log h_t)\log d \tag{2.13}$$

其中 f_c :**發射電波頻率，單位為** MHz h_t :**發射天線高度，單位為公尺**

h_r:**接收天線高度，單位為公尺** d:h_t **與** h_r **之間的距離，單位為公里**

$a(h_r)$:**修正因子**

各參數的適用範圍依序為:

f_c :$150 \rightarrow 1500MHz$

h_t :$30 \rightarrow 200m$

d :$1 \rightarrow 20Km$

而文獻中的量測曲線如圖 2.6 **所示**:

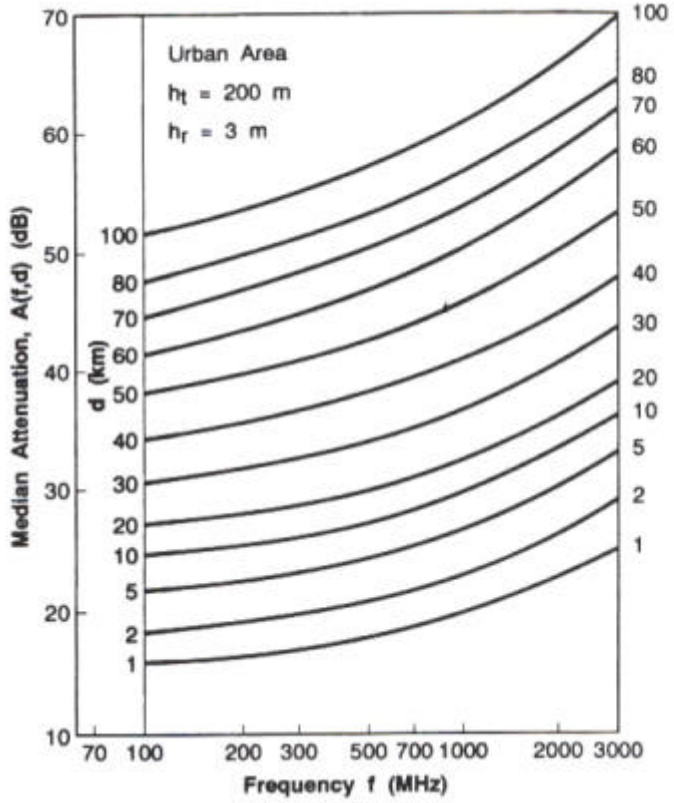


圖 2.6 **Okumura-Hata 量測曲線圖**

若要得到更精準的場強值，就必須把因為不同的地形所造成的誤差去做修正，Okumura-Hata Model **也有其校正因子**(G_{AREA})**，在不同地形的校正因子如圖** 2.7 **所示**:

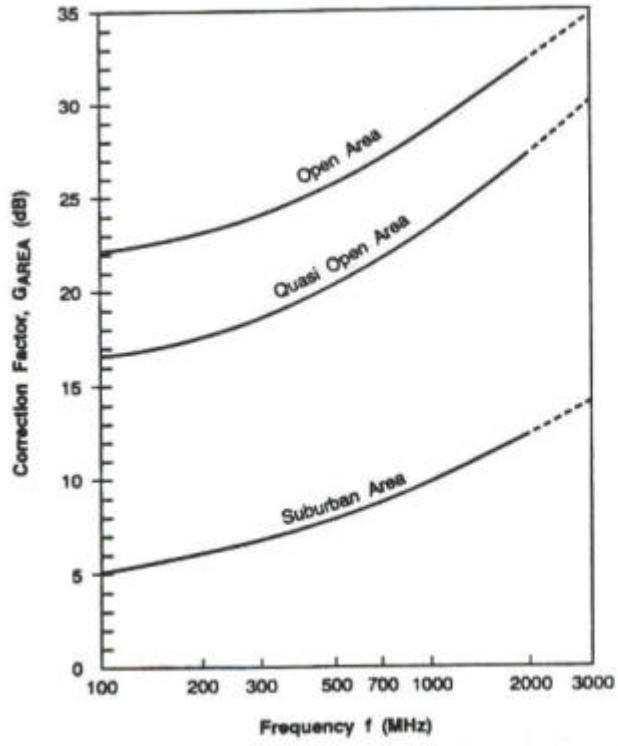


圖 2.7 **校正因子**(G_{AREA})

雖然 Okumura-Hata Model **在日本當地已經使用相當多年, 可信度已獲得相當的肯定, 並且針對都會區內的短距離** FM **傳播,** Okumura-Hata Model **所預測的傳播損失與實際量測的值之間誤差尚稱接近，但是對於山區地形與長遠的距離，此模型就比較不適用了。因為台灣的地形多變，在台灣是否具有相同的結果仍需進一步的驗證，在這個計畫中對於不同地區用** Okumura-Hata Model **去模擬，再與實際量測的結果去比較之間的誤差，進而明確的知道** Okumura-Hata Model **的適用地區與傳播損失的情形。**

2.7 Deygout 模式

許多電波傳播模型在平坦的地區都有不錯的效能，但如果有山脈阻擋時，以上所述之傳播模式則並不適用，Deygout **模式可用來預測有山脈阻擋時的電波傳播特性。**

Deygout **繞射模式來自於** Fresnel **模式的擴充，而** Fresnel **模式是把一**

座山脈簡化為刃狀物，再算出電波經過此刃狀物繞射的電場大小；Deygout 模式則是考慮至多三座刃形山脈的額外損失，如此將能更精確地預測出電波經過山脈繞射後之傳播損失。

首先，我們必需先了解對於單一個 knife-edge 之 Fresnel 繞射因子n 為

$$n = h\sqrt{\frac{2(d_a + d_b)}{l\, d_a d_b}} \tag{2.14}$$

其中 d_a 為發射源與刃狀物間的距離，d_b 為刃狀物與接收點間的距離，h 則為刃狀物在發射源與接收點連線以上的高度且由上式可看出n 與 h 成正比關係。額外傳播損失可表示成:

$$L_k = -20\log\left|F(n)\right| \tag{2.15}$$

其中

$$F(n) = \frac{1+j}{2}\int_n^{\infty}\exp\left(\frac{-jpt^2}{2}\right)dt \tag{2.16}$$

稱為複數 Fresnel 積分。

而 Deygout 模式則是將一座刃形山脈擴充至三座，如圖 2.8 所示。

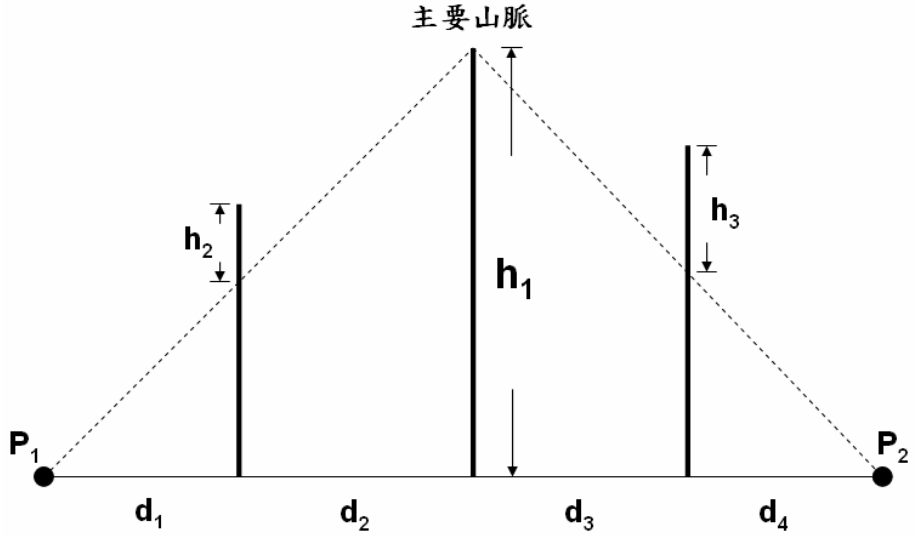


圖 2.8 地形剖面示意圖

假設 P_1 為發射源，P_2 為觀測點，故可計算出 P_1 與 P_2 間之所有刃形山脈的n 值，並從中找出最大值即為主要阻擋山脈，且利用上式計算其繞射損失

(L_{main})；接著以主要阻擋山脈為觀測點，P_1 為發射源，再計算出兩者之間的*n* 最大值，並求出其相對應的繞射損失(L_{left})；最後再以主要阻擋山脈為發射源，P_2 為觀測點，計算出其相對應之繞射損失(L_{right})。則此三項之加總我們稱為超額損失(excess loss)，故 Deygout 模式之總傳播

損失(L_{dg})為超額損失再加上自由空間之傳播損失，即

$$L_{dg} = L_F + L_{main} + L_{left} + L_{right} \qquad (2.17)$$

2.8 Epstein-Peterson 電波傳播模式

Epstein-Peterson 電波傳播模式是由 EPSTEIN J.及 PETERSON D.W.根據 Rec.715-3(CCIR,1990)在 1953 年所發表出之一種電波傳波模式。其原理主要是依據數位化的電子地形圖，並考慮在自由空間中之傳播損失與多重繞射損失；而傳播損失之計算公式則是根據 ray-optical 經驗法則對於電波傳播發生在地表彎曲的地形時所需要使用之 k 因子來決定傳播模式的計算模式。

首先考慮多重繞射所造成之損失(L_{diff})，其損失為各種繞射之傳播損失的總和，即 $L_{diff} = L_i$。其中 L_i 為第 i 個繞射邊緣，並可將它看做是個單一的刀緣，其計算公式是參考 Fresnel-Kirchhoff-relation，理論上刀緣的個數是沒有上限的。當我們要去計算第 L_i 個的傳播損失時，前一個障礙物或發射機與下一個障礙物或接收機之間的距離為 a_i，其基本的原理如圖 2.9 所示。

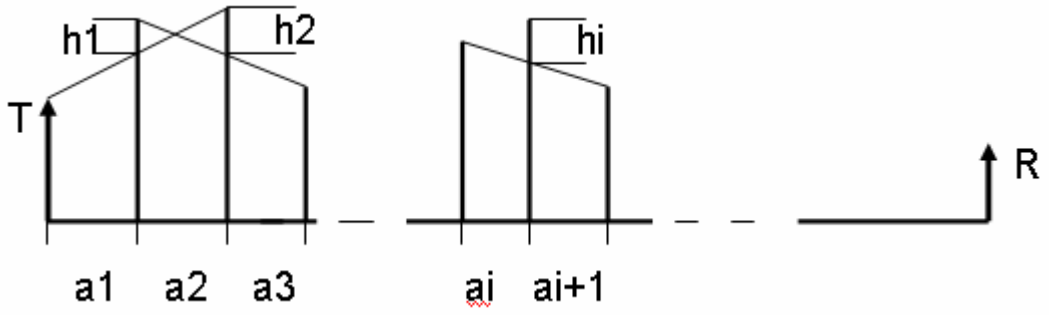


圖 2.9 多重繞射原理示意圖

其中 T 為發射端，R 為接收端，a_i 為與前一個障礙物的距離，a_{i+1} 為與下一個障礙物的距離及 h_i 為刀緣障礙物間所造成的高度差。

2.9 L&S VHF/UHF 模式

L&S VHF/UHF 電波傳播模式被用來預估在頻帶Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ及Ⅳ/Ⅴ之一種場強分佈模式，且所適用之頻率範圍從 30 MHz 到 1000 MHz。其總傳播損失(L_{ls})可表示為

$$L_{ls}\,(\text{dB}) = L_{diff} + L_{lin} + L_{morpho} \qquad (2.18)$$

其中 L_{diff} 主要是根據 Epstein-Peterson 電波傳播模式中所考慮之多重繞射因素所造成的多重繞射損失。L_{lin} 則為線性損失，其損失主要是跟發射站台所發射的頻率(f)及欲測點與發射機間的距離(d)有關，而其關係式如下：

$$L_{lin} = \begin{cases} 0.00015 \times d & ; \quad f \le 300MHz \\ 8.0 & ; \quad f \ge 300MHz \end{cases} \qquad (2.19)$$

而 L_{morpho} 則為位於不同地形(市區、郊區…)所需之額外損失，其各地形所需修正之額外損失及天線高度如表 2.1 所示。

表 2.1　地形分類修正表

位　置(location)	損　失(L_{morpho})		天線高度 (h_{Morpho})
	f < 300MHz	f > 300MHz	
平原或空曠地區	0 dB	0 dB	0 m
森　林	3 dB	8 dB	10 m
郊　區	3 dB	5 dB	10 m
市　區	9 dB	12 dB	30 m

2.10　結 論

由以上幾種不同傳播模式，若使用頻段為 VHF 頻帶與 UHF 頻帶之間時，我們大至可歸納出：

1. 當發射端與接收端相距不遠且有直視波(LOS)路徑到達時，可將傳播損

失視為在自由空間中之傳播損失，其損失與距離平方成正比。若兩天線之間距離很遠時，則可使用地平面反射傳播模式，其傳播損失與距離四次方成正比。

2. 若接收端位於城市都會區或地形起伏變化較小時，則可使用 Okumura Hata 模式及 ITU-R 模式來預測其場強分佈。
3. 當接收端位於地形陡峭或山區時，則可使用 Deygout 繞射模式、L&S VHF/UHF 模式及 Epstein-Peterson 模式來描述其傳播效應。

有了以上的簡述及歸納後，接下來的幾個章節中，我們即可利用軟體模擬出在不同傳播模式下之場強分佈與實際量測的結果比較，並規劃出在台灣全省各地之不同地區所適用之傳播模式。

第三章　量測系統

3.1　前言

本計畫場強量測的電台種類包括：FM、TV、DAB 以及 DVB 等…，其頻率範圍從 80MHz 至 700MHz，而電台發射天線的極化狀態有鉛垂極化、水平極化及圓極化，不過，電波經過直接波、地面反射、障礙物的反射及繞射之後，其極化狀態可能會有所改變，另外，由於車輛的移動及轉彎，電波來向亦會隨時改變。由於頻率範圍寬廣，極化狀態複雜，使用單一天線來進行量測，難以獲得可信的電場強度。因此，本計畫針對量測上的需求以及根據接收天線的場型、增益及極化的特性，特別設計了實驗量測系統以及系統校正方法，期能獲得較為可信的量測值。

在極化方面，發射天線若為水平極化，使用鉛垂極化天線來接收，其量測值將比實際場強值小許多。若使用水平極化天線接收，由於水平極化偶極天線在水平面的場型不是全向性而是 8 字型場型，若是電波來向剛好在場型的零值(null)方向，則場強量測值亦會遠小於實際值。因此，用單一根水平極化偶極天線來接收訊號，在某些情況下其量測值將不正確。為避免上述情況所造成的誤差，我們同時使用三組天線來接收，一為鉛垂極化的單極天線，另外二組為軸向相互垂直的水平極化偶極天線。若這三組天線所量得的場強分別為 E_x、E_y、E_z，我們假設該位置的總場強約為 $E=(E_x^2+E_y^2+E_z^2)^{1/2}$。

在本計畫執行過程中建立了兩套量測系統，之後分別以『A 量測系統』與『B 量測系統』稱之。『A 量測系統』同時使用三組天線，每一天線分別連到一部頻譜分析儀，亦即同時使用三部頻譜分析儀(或場強計)來記錄三組天線所收到的訊號，再經過校正換算以得到三個極化方向的場強及總場強值。『A 量測系統』使用於計畫前期之宜蘭、花蓮及台東的台灣東部場

強量測，在量測數據整理中發現，受限於 Balun 之頻率範圍，使 Dipole 在 FM 及較高頻的頻段接收特性不佳，而 Monopole 也是在 FM 頻段接收特性不佳；使用三部不同頻譜分析儀(或場強計)來記錄三組天線所收到的訊號，受限於三部儀器性能都不同，而無法發揮每一部頻譜分析儀(或場強計)的最佳性能，也由於 noise level 的不同，造成當電台訊號很小時，有時量測到的場強值會如同 noise 一般，而量測不到真正的電台場強值，造成總場強計算時的誤差，為了改善原本量測系統的缺點，便自行發展『B 量測系統』來進行之後的量測工作。

『B 量測系統』則同時使用四組天線（兩組 Dipole 及兩組 Monopole 天線），這四組天線為自行設計全頻段(80MHz 至 700MHz)天線，透過 coaxial switch 連接到頻譜分析儀，再經由筆記型電腦控制 coaxial switch，在量測行進中快速切換四組量測天線，使用同一部性能最好的頻譜分析儀來記錄四組天線所收到的訊號，藉以簡化原本由三組頻譜分析儀及筆記型電腦所構成量測系統，使量測系統精簡化減少發生錯誤的變數，再經過校正換算以得到三個極化方向的場強及總場強值。『B 量測系統』則使用於計畫後期之台灣北部、西部及南部的場強量測，並可廣泛的應用於日後的場強量測。

為了正確獲得 FM、TV、DAB 以及 DVB 等多頻段測量場強，必須針對量測系統中使用之 Dipole 和 Monopole 天線，量測並計算這些天線架設在車體上之天線因數(Antenna Factor)，其中乃使用三埠向量網路分析儀（Agilent E5071B）和標準天線，如雙錐天線（Biconical Antenna）、對數週期天線（Log Periodic Antenna）以及雙錐對數週期天線（Biconilog Antenna）等設備，於開放空間中針對此兩組 Dipole 及一組 Monopole 進行天線因數校正。

3.2 量測系統之建立

『A 量測系統』使用的天線是採用現成的天線組件，在 Dipole 天線組件（EMCO3121）四種不同頻率範圍的 Dipole Balun 中，選擇在量測頻率範圍(80MHz 至 700MHz)內特性最平穩的 DB-3(140~400MHz) Dipole Balun 且將 Dipole 長度固定在 120cm(即半波長之頻率為 125MHz)，以作為水平極化量測用天線，而 Monopole 則採用 DVS5100 系統中所附的單極天線，由於必須在台灣各地區量測廣播電台的電波場強分佈，因此乃將量測廣播電波場強的兩組 Dipole 及一組 Monopole 裝置在測量車（中華 Space Gear 休旅車）之車頂上，同時包含三個極化方向，並配合車內的二組頻譜分析儀與筆記型電腦以及一組 Z technology 之 DVS5100 (內含場強計、筆記型電腦及 GPS 定位系統)，以同時記錄廣播電台在不同 GPS 座標時，三個極化方向的電波場強,『A 量測系統』示意圖如圖 3-1，實際量測擺設如圖 3-2。

『B 量測系統』則使用自行設計全頻段(80MHz 至 700MHz)天線，以 flat-plane bow-tie antenna 型式設計 Dipole，Dipole 長度為 88cm，夾角約 85°，以作為水平極化量測用天線，而 Monopole 也以 flat-plane bow-tie antenna 型式去設計，Monopole 尺寸為邊長 50cm 的正三角型，由於必須在台灣各地區量測廣播電台的電波場強分佈，因此乃將量測廣播電波場強的兩組 Dipole 及兩組 Monopole 裝置在測量車（中華 Space Gear 休旅車）之車頂上，同時包含三個極化方向，再透過筆記型電腦控制 coaxial switch，在量測行進中快速切換四組量測天線，使用同一部頻譜分析儀來記錄四組天線所收到的訊號，並使用 Z technology 之 DVS5100 內的 GPS 定位系統記錄座標，『B 量測系統』示意圖如圖 3-3，實際量測擺設如圖 3-4。

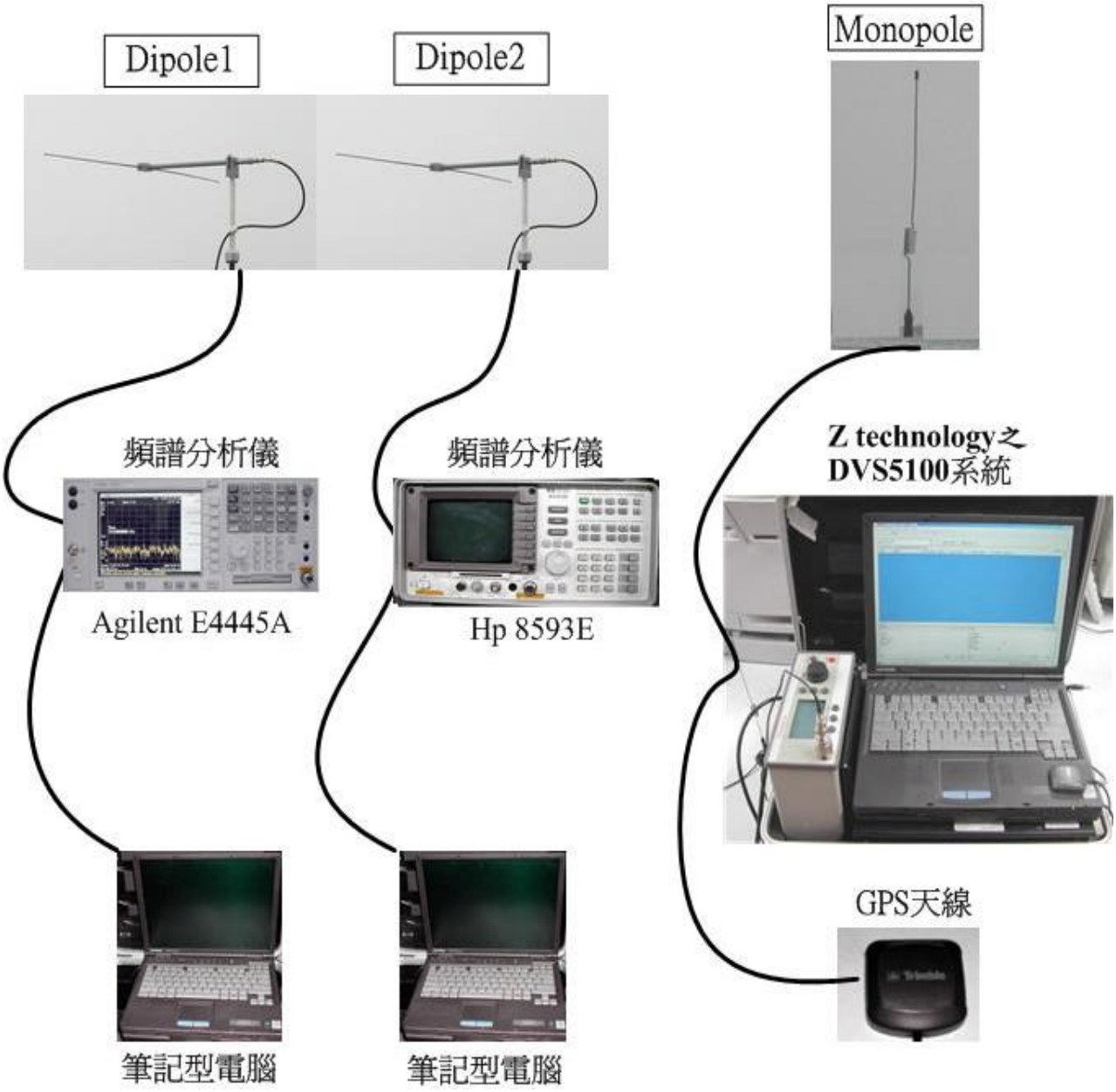


圖 3-1　**『A 量測系統』示意圖**

圖 3-2　**『A 量測系統』實際量測圖**

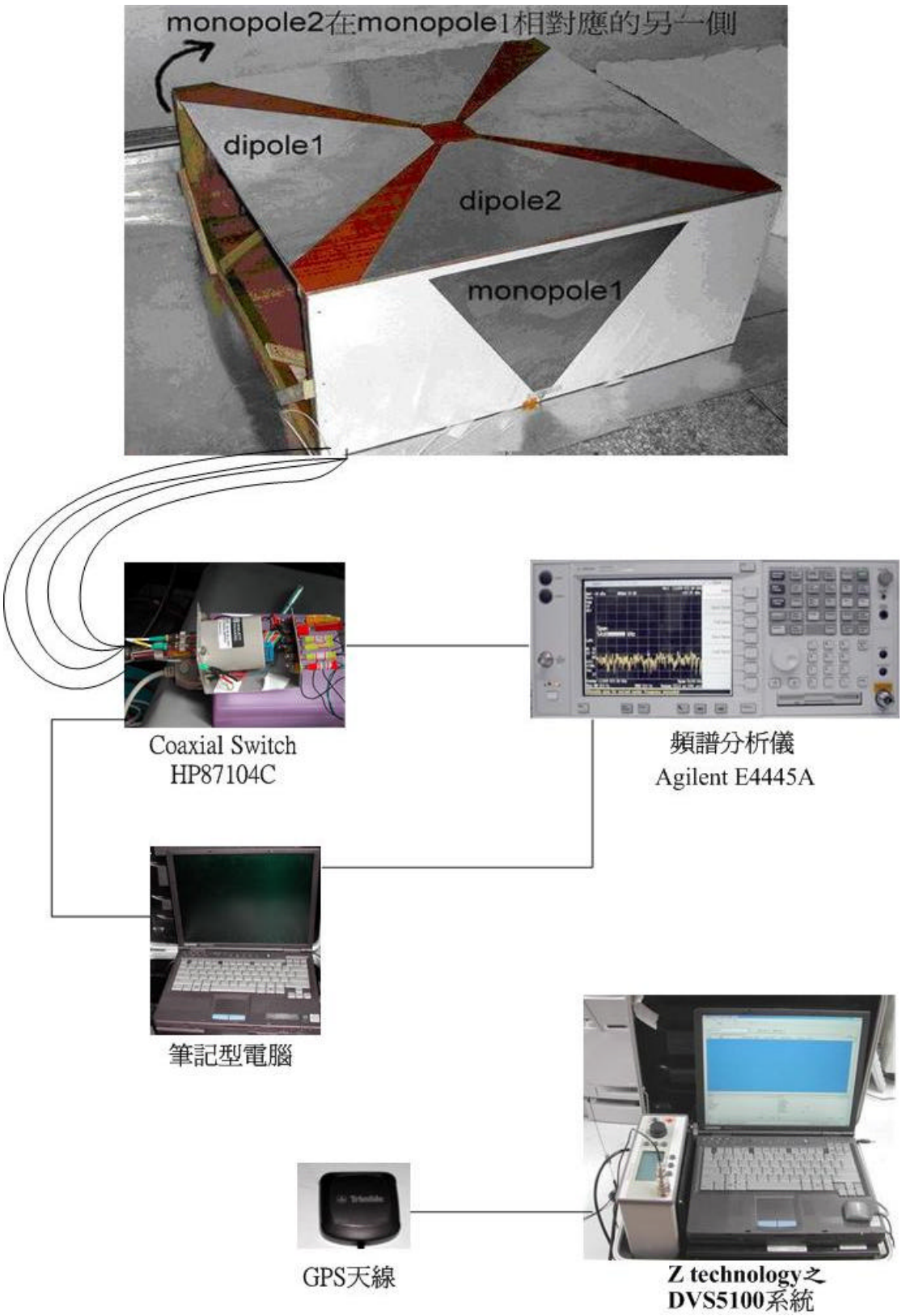


圖 3-3　『B 量測系統』示意圖

圖 3-4　『B 量測系統』實際量測圖

在『A 量測系統』中，先架設兩組 Dipole 及一組 Monopole 於車頂上，其中心點離地面高度為 2.34 公尺，以測量 FM 廣播電台、數位廣播電台、類比電視台以及數位電視台等廣播訊號的場強。三組天線在車頂上之相對位置示意圖及實際圖分別如圖 3-5 及圖 3-6 所示，兩組 Dipole 皆為水平極化，天線正面方向朝車頭者，之後以『Dipole1』稱之，方向朝向右車門者，之後以『Dipole2』稱之，鉛垂極化的 Monopole 則是放置於 Dipole1 正前

方。

在『B 量測系統』中，先架設兩組 Dipole 及兩組 Monopole 於車頂上，主要利用木板做成固定架構，再將 Dipole 及 Monopole 固定在木板表面，最高木板平面離地面高度為 2.34 公尺，用以測量 FM 廣播電台、數位廣播電台、類比電視台以及數位電視台等廣播訊號的場強。四組天線之結構實際圖及在車頂上之相對位置實際圖分別如圖 3-7 及圖 3-8 所示，兩組 Dipole 皆為水平極化，天線兩端指向車頭及車尾者，之後以『Dipole1』稱之，天線兩端指向左、右車門者，之後以『Dipole2』稱之，鉛垂極化的兩組 Monopole 則是固定在靠車門兩側的木板表面，靠右車門者，之後以『Monopole1』稱之，而靠左車門者，之後以『Monopole2』稱之。

量測系統之頻譜分析儀乃應用自行撰寫的『自動資料擷取系統』軟體來控制，而 DVS5100 系統則使用其所附之套裝軟體控制，以擷取電波場強資料，並使用 DVS5100 系統中的 GPS 定位系統來記錄量測時之座標，量測步驟流程如圖 3-9 所示，並以實際量測時之操作方式為例說明如下：

(1) 透過 cable 將 Dipole 及 Monopole 連接到車內的頻譜分析儀。

(2) 設定頻譜分析儀的開始頻率（Start Frequency：80MHz）、停止頻率（Stop Frequency：700MHz）、內部放大器（on）、衰減（Attenuation）、解析頻寬（Resolution Bandwidth：200k MHz）以及解析點數。

(3) 觀察頻譜分析儀所顯示之量測訊號的場強峰值曲線是否高於或低於畫面，若有這種情形則調整參考位準值，使場強峰值曲線均位於螢幕畫面中，以避免準位偏移而使量測訊號失真。

(4) 透過 PCMCIA-GPIB 線將筆記型電腦連接至頻譜分析儀，藉由軟體來控制頻譜分析儀，並儲存所量測的電波場強資料。

(5) 在筆記型電腦上開啟已寫好的『自動資料擷取系統』軟體，如圖 3-10 所示。

(6) 軟體功能中可擷取三種資料：

- 擷取基地台峰值資料－可擷取所指定頻率的場強值。

- 擷取 EMI trace 資料－可指定一個頻率範圍及解析頻寬，並紀錄此頻率範圍內頻帶之電磁干擾背景值。
- 擷取 Channel Power－可擷取 W-CDMA、GSM 等訊號之頻道功率。

(7) 本研究是量測各 FM、DAB 及 DVB 訊號，故選擇『擷取基地台峰值資料』的項目。

(8) 進入『擷取基地台峰值資料』軟體視窗，如圖 3-11 所示，輸入存檔名稱及指定之頻率值。由於廣播電台及電視台的頻道數相當多，乃勾選『由檔案輸入』項目，其中事先將總頻率個數及所有頻率值建入 set.txt，而軟體在執行時便會自動讀取 set.txt 的內容，來取得欲擷取的頻率值。

(9) 按『開始』，軟體即開始執行擷取的動作，並可由視窗下方看到讀取動作。

(10) 按『ESC』，軟體停止擷取的動作並進行存檔。

(11) 其它按鍵功能說明:

- Counter：會使存檔檔名後方的數字自動加 1，以避免原檔名及量測資料被覆蓋。
- Delay Time：由於三台頻譜分析儀/場強計的速度不同，量測時所儲存的資料量差異頗大，在考量資料後續的處理流程，乃為速度較快的頻譜分析儀加入一些 delay time，以在不影響量測結果的前題下達到節省處理時間及節省資料空間的功用。

DVS5100 設定方式：

(1) 按下 R507 場強計面板 Function 鍵，轉動旋鈕至螢幕顯示 F93 後，按下旋鈕。

(2) 於筆記型電腦上開啟控制軟體『Drive Text』，如圖 3-12。

(3) 點 New Job，輸入 Job name 來編輯量測頻率，如圖 3-13。

(4) 於 Frequency(MHz)欄位輸入量測頻率，Frequency Name 為頻率名稱，Signal Type 代表訊號形式，類比訊號選 Analog 如圖 3-14。

(5) 點選 Configure Analog，Post Delay 代表每個頻率之間的量測時間間隔，設定為 0，RF amp 為放大器，設定 on，勾選 Auto range 讓儀器自行選定適當量測範圍，IF Bandwidth 有 WB(150kHz)及 NB(15kHz)，勾選 WB，如圖 3-15。

(6) 點選 save Job 儲存。

(7) 按『F3』開始量測，並記錄量測時間、頻率、場強、經緯度。

(8) 按『F4』停止量測。

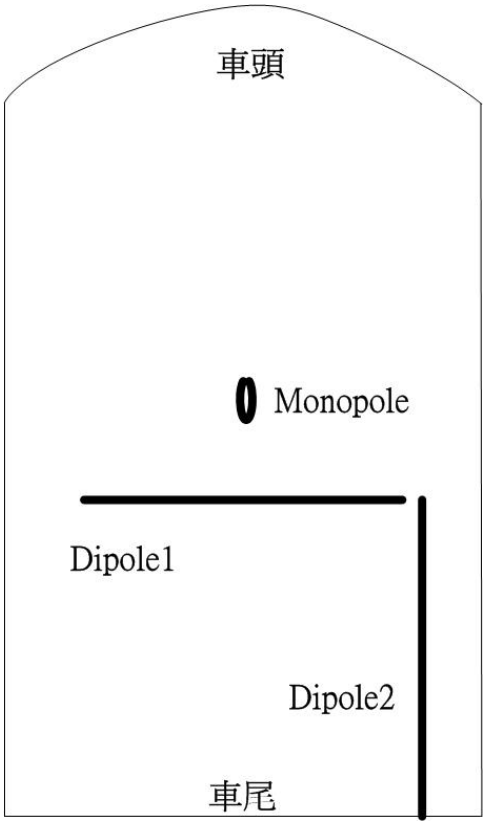


圖 3-5　**『A 量測系統』中，三組天線在車頂上之相對位置示意圖**

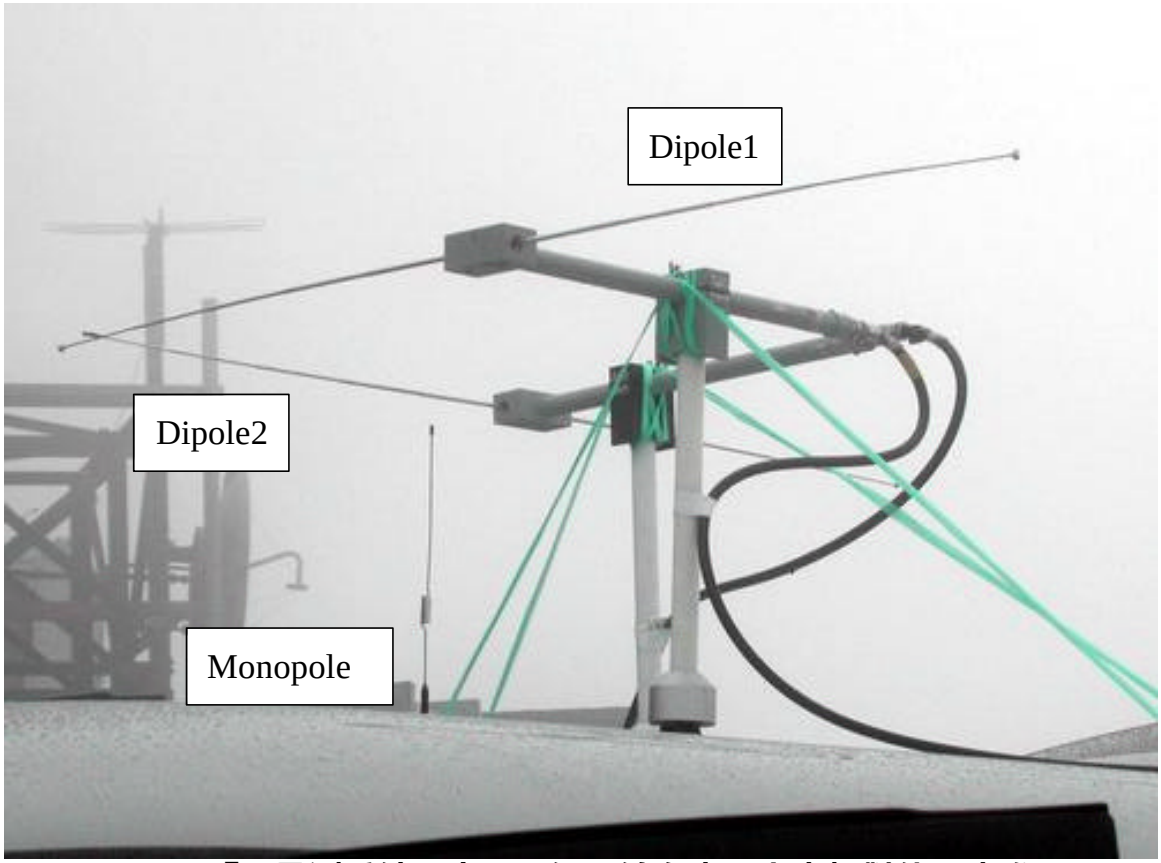


圖 3-6　**『A 量測系統』中，三組天線在車頂上之相對位置實際圖**

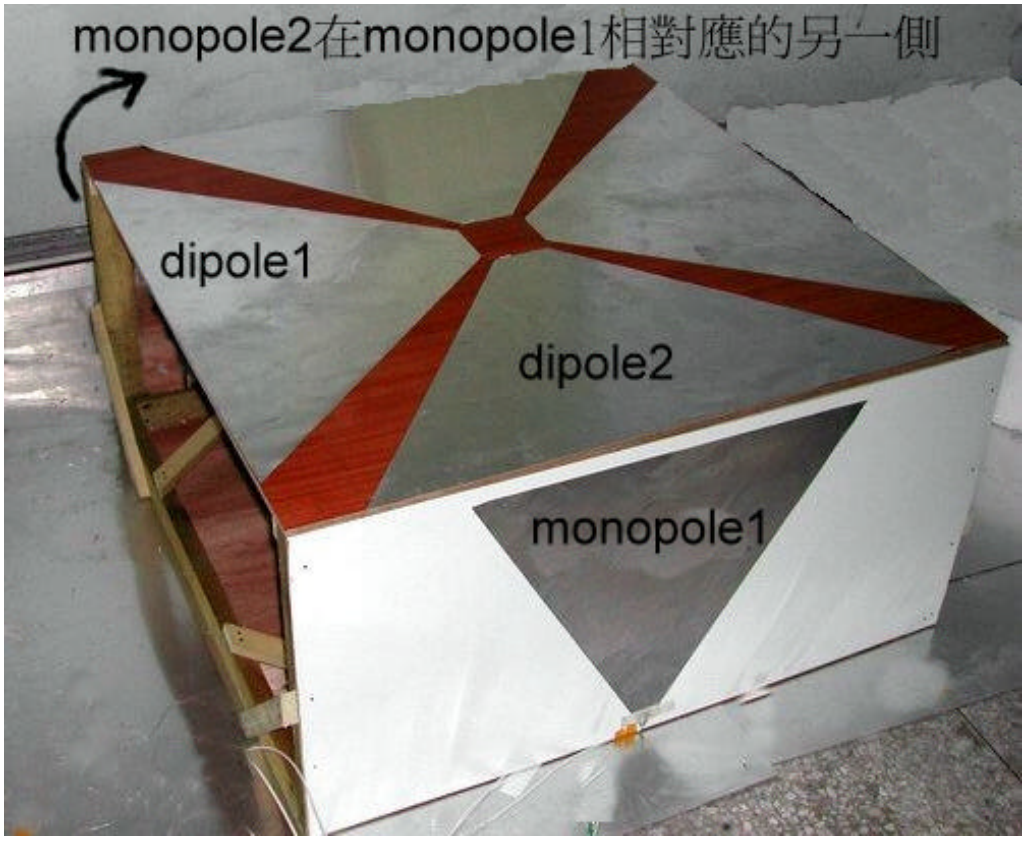


圖 3-7　『B 量測系統』中，四組天線實際架構圖

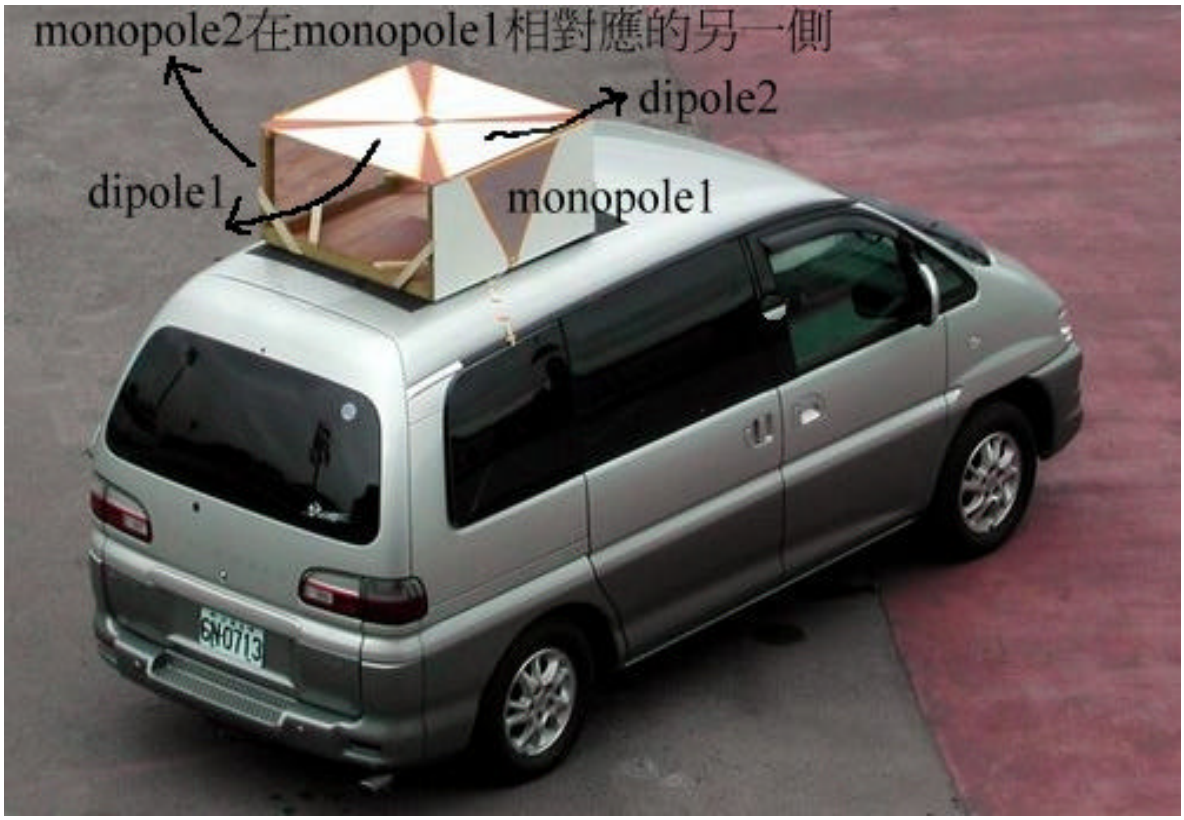


圖 3-8　『B 量測系統』中，四組天線在車頂上之相對位置實際圖

圖 3-9　量測步驟流程圖

圖 3-10 自動資料擷取系統程式面板控制圖

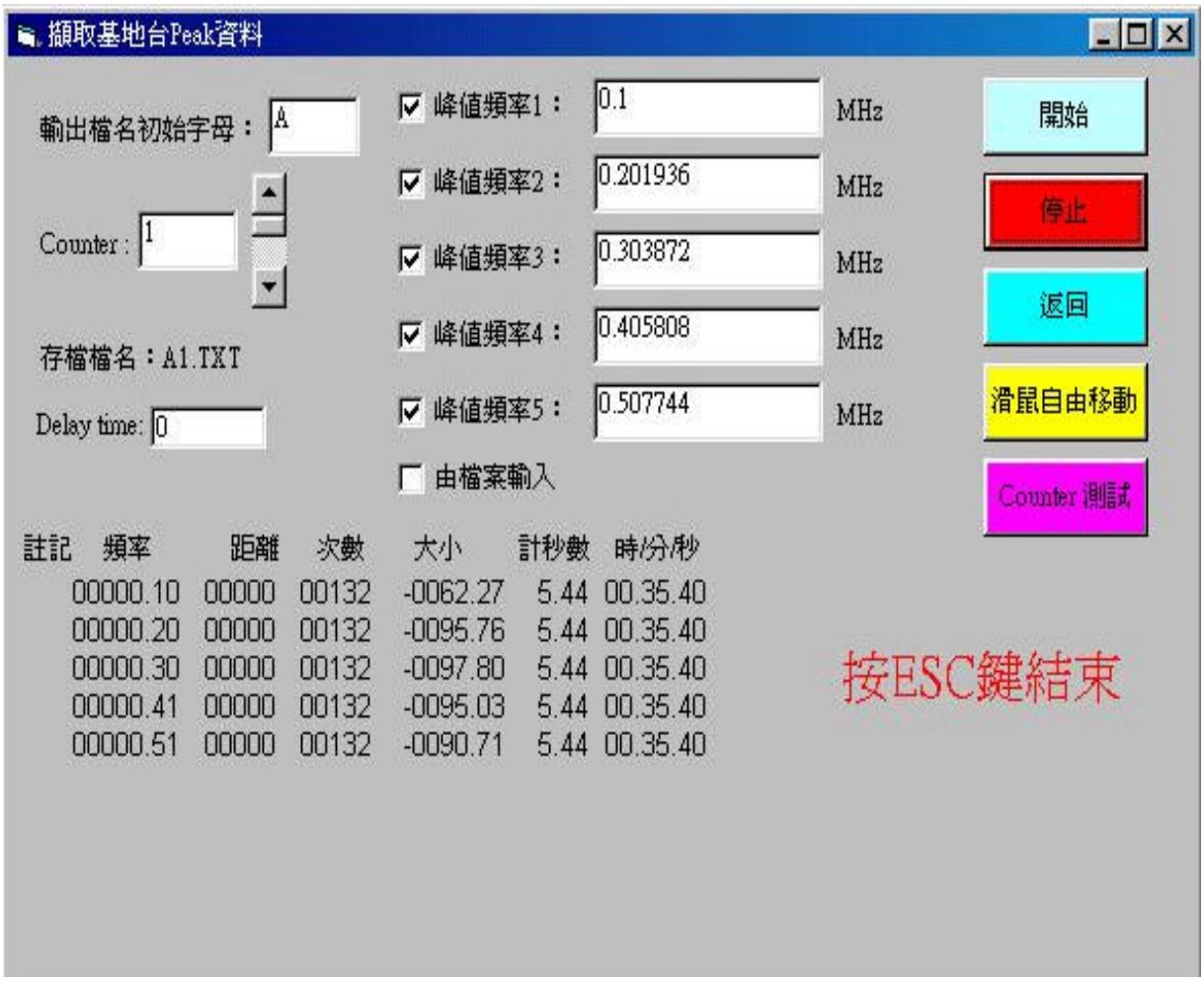


圖 3-11 自動資料擷取系統程式擷取基地台峰值資料之面板控制

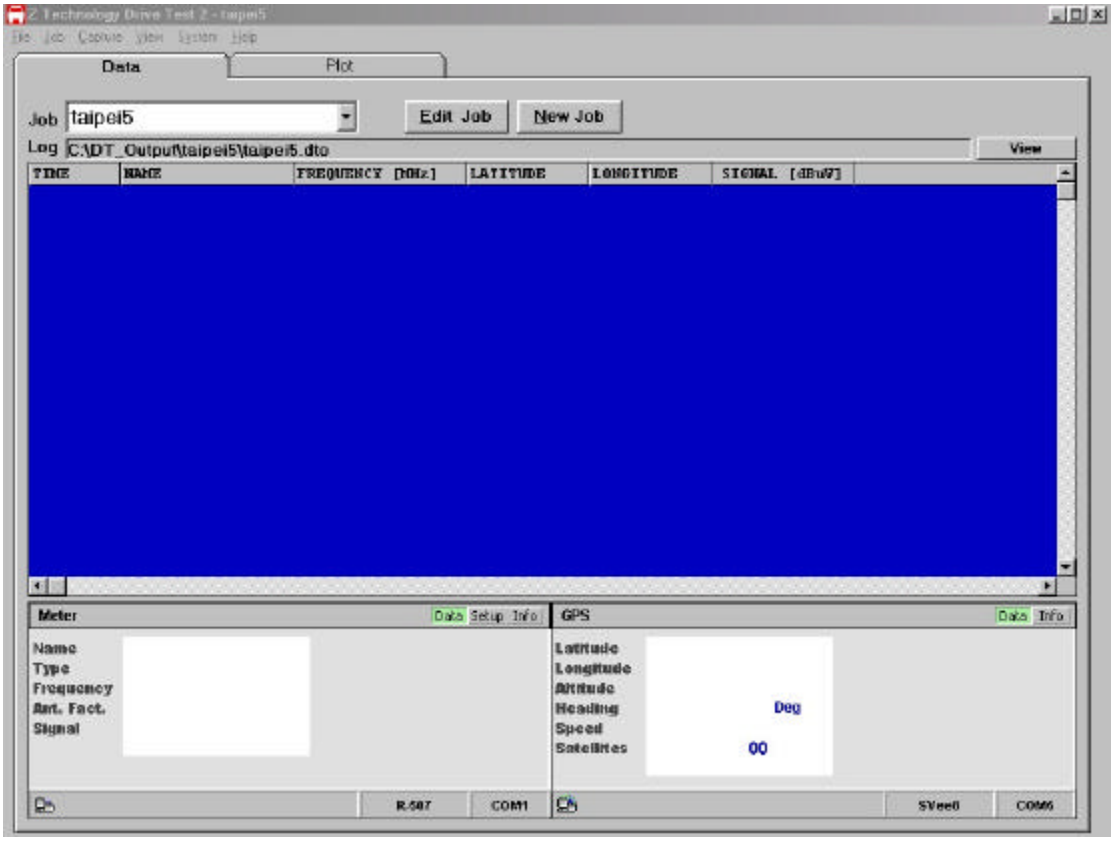


圖 3-12 **控制軟體**『Drive Text』**視窗**

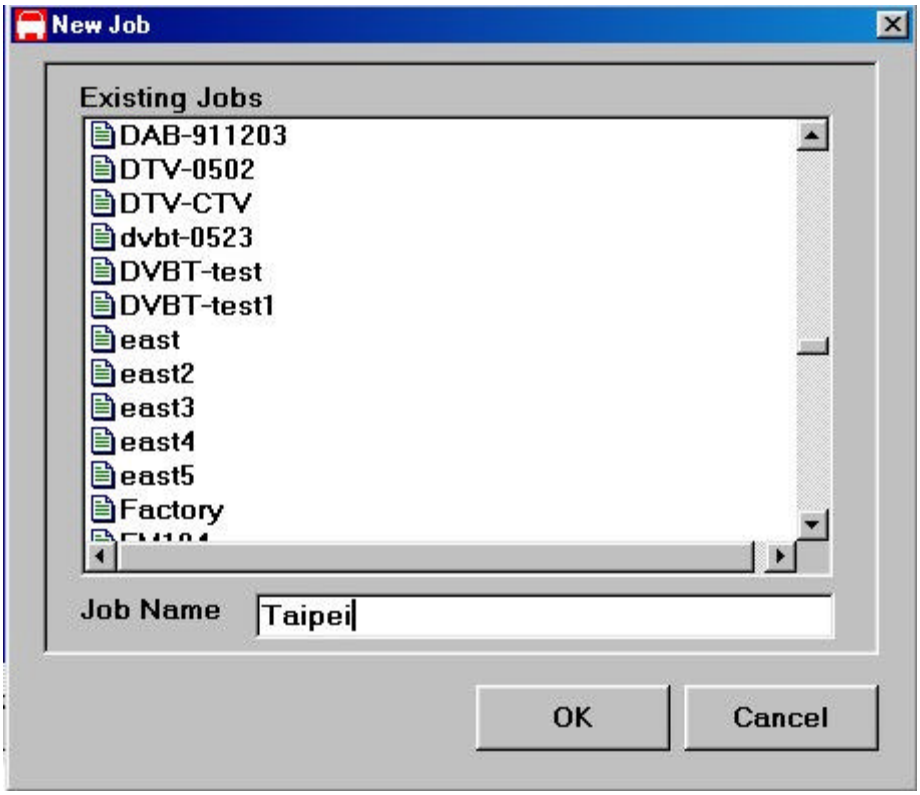


圖 3-13 Job name **之輸入視窗**

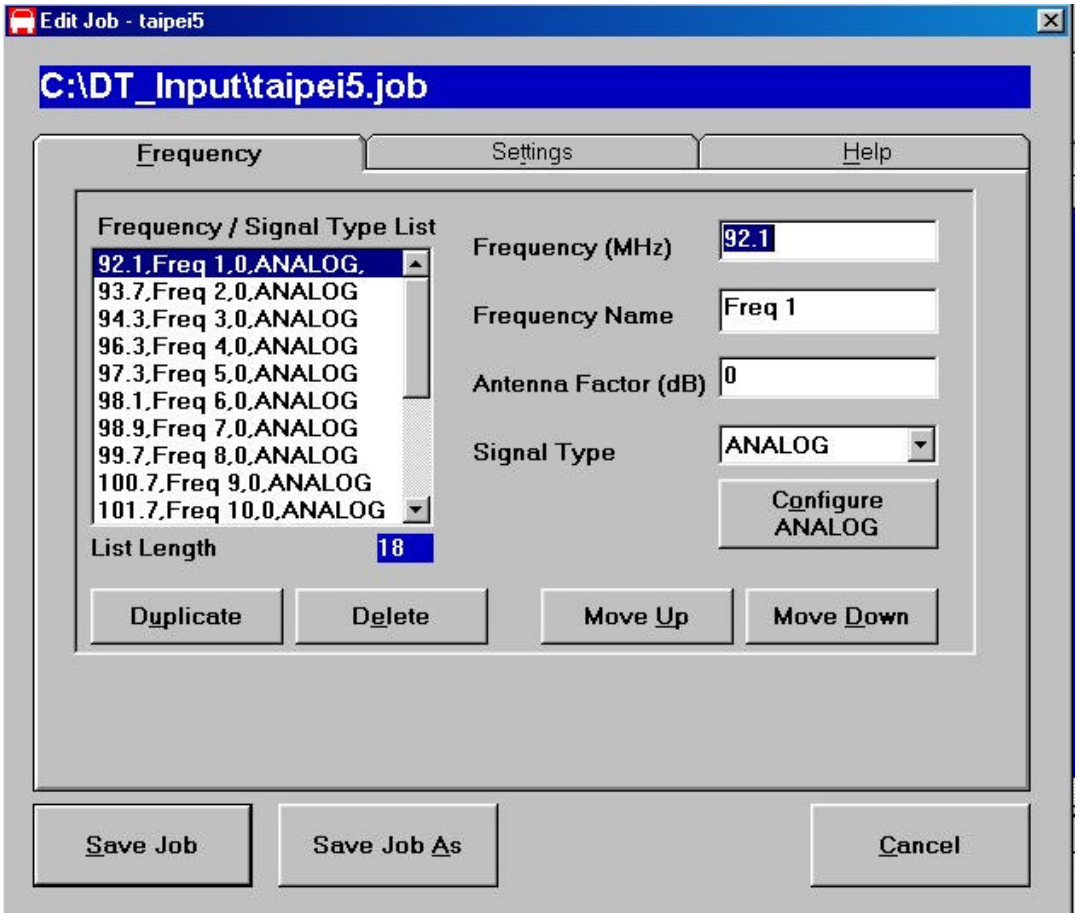


圖 3-14 **量測頻率編輯視窗**

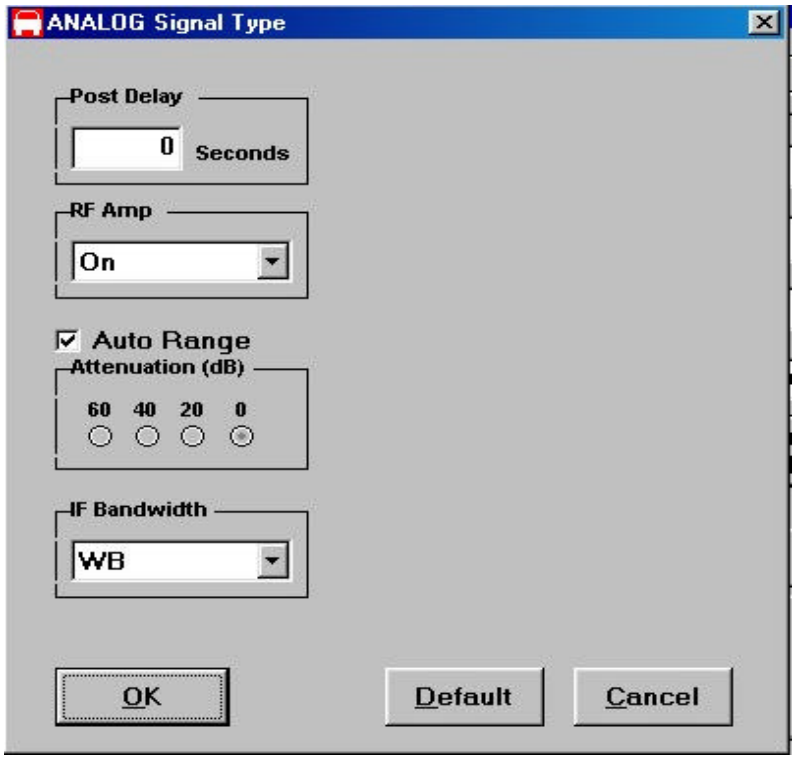


圖 3-15 **參數值設定視窗**

3.3 『A 量測系統』之校正

『A 量測系統』是將量測用的兩組 Dipole 及一組 Monopole 裝置在車頂上，以包含三個極化方向，並配合車內的三部頻譜分析儀(場強計)、筆記型電腦以及 GPS 定位系統，來同時記錄訊號在不同位置（GPS 座標）時，三個極化方向的電波場強分佈。然而，車體對天線的效應、連接電纜損失及天線的場型與接收特性頻率效應等，皆會對量測值產生影響，因此必須對整個量測系統做校正，以得出此三組天線在車體上之實際等效天線因數，以由量測數據計算得到所測訊號的電波場強大小。

3.3.1 『A 量測系統』Dipole 及 Monopole 之特性

本研究主要是針對 FM 廣播電台、電視轉播站台、DAB 試播電台及數位電視台頻段之訊號進行測量，其中各站台之頻率在 80MHz ~ 700MHz 的範圍之內，故量測用的天線在 80MHz ~ 700MHz 之範圍內有良好的接收特性即可。另外，為了用單一 Dipole 接收 80MHz~700MHz 內電台訊號水平極化分量，乃使用向量網路分析儀進行天線反射損失之特性測試，並從 Dipole 天線組件（EMCO3121）四種不同頻率範圍的 Dipole Balun: DB-1(28~60MHz), DB-2(60~140MHz), DB-3(140~400MHz), DB-4(400~1000MHz)，選擇在量測頻率範圍內特性最平穩的 DB-3 Dipole Balun 且將 Dipole 長度固定在 120cm(即半波長之頻率為 125MHz)，以作為水平極化量測用天線，圖 3-16、圖 3-17 分別為 Dipole1、Dipole2 在 80MHz ~ 700 MHz 的反射損失（return loss）；Monopole 則採用 DVS5100 系統中所附的單極天線，其在 80MHz ~ 700 MHz 的反射損失如圖 3-18 所示，其中測量時 Monopole 天線是架設於圖 3-6 所示車頂位置上。

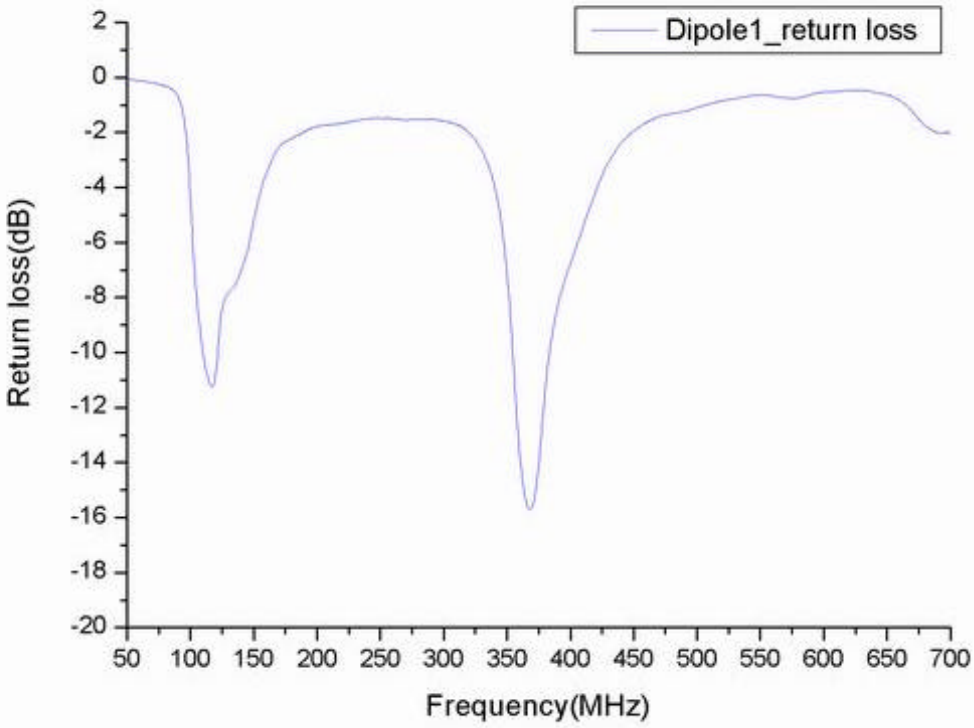


圖 3-16 『A **量測系統**』Dipole1 **天線之反射損失**

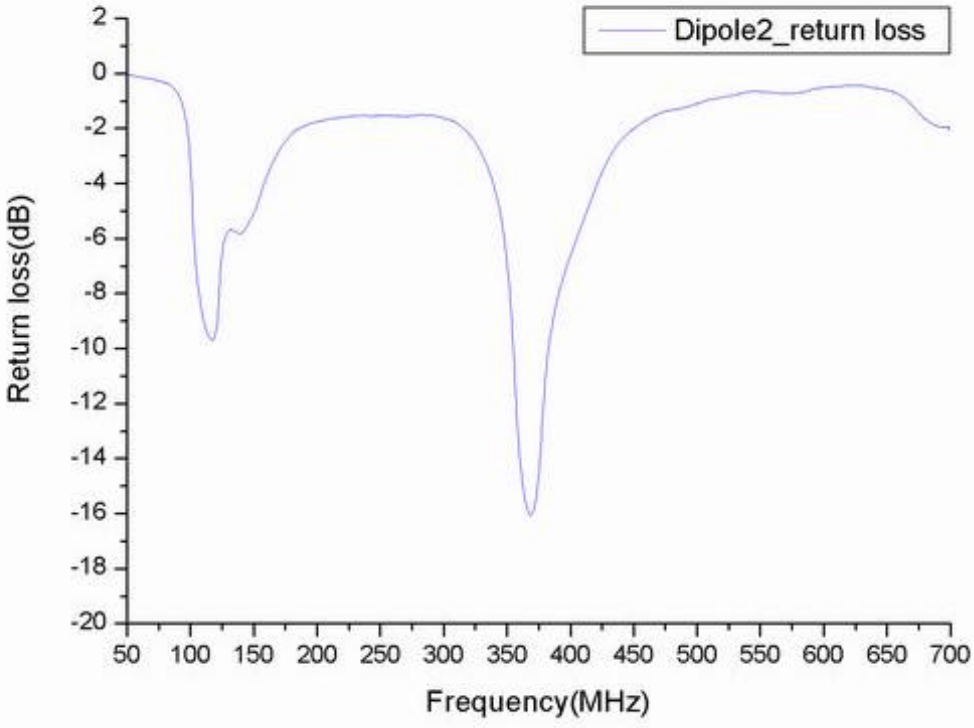


圖 3-17 『A **量測系統**』Dipole2 **天線之反射損失**

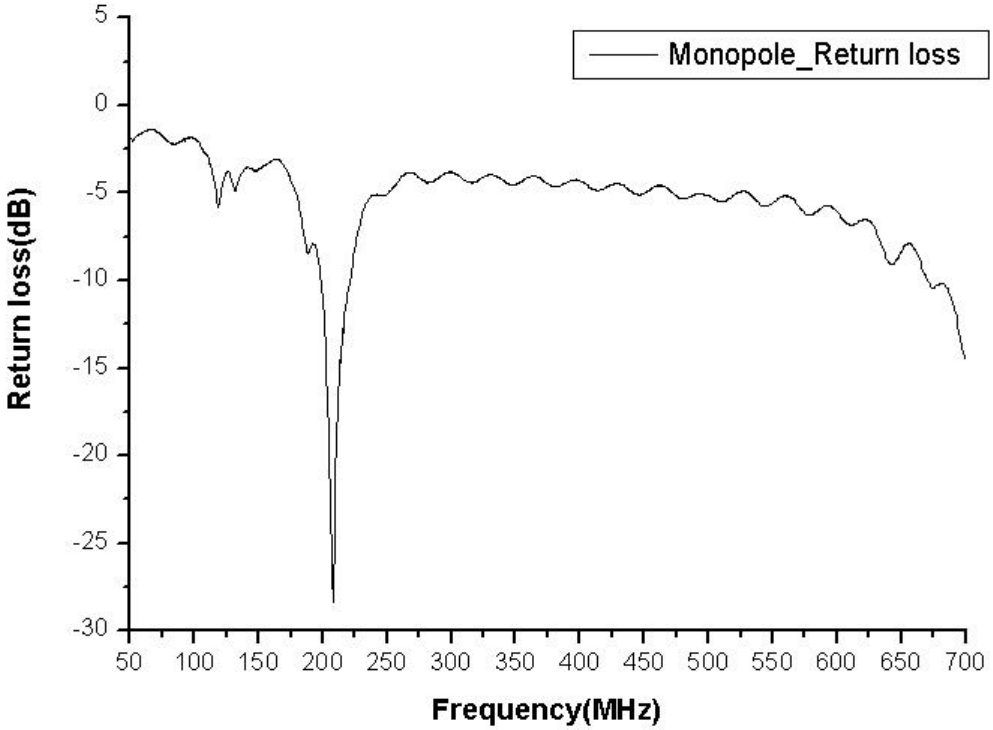


圖 3-18 『A 量測系統』Monopole 天線之反射損失

3.3.2 校正系統之架構及校正結果

校正系統是使用三埠向量網路分析儀（Agilent E5071B**）、雙錐天線、對數週期天線以及雙錐對數週期天線等標準天線，於開放空間中進行測量，並應用向量網路分析儀之平滑**(Smothing)**功能，設定為** 3%**，將周圍環境產生之干擾雜訊降低，來獲得正確的** S_{21} **頻率響應量測結果。**

本實驗選擇台灣大學水源校區進行天線校正，實驗環境如圖 3-19 **所示，圖** 3-20 **為天線因數校正測量之架構，其中所使用之標準接收天線為雙錐天線（**EMCO3110B, 30MHz~ 300MHz**）及對數週期天線（**EMCO 3147, 200MHz~ 5GHz**），來涵蓋** 80MHz~ 700MHz **的校正量測範圍，此標準天線架設高度為** 2.34m**，以和** Dipole **及** Monopole **測量天線架設在車頂時之高度相同，並距發射天線** 10m**，此發射天線固定為雙錐對數週期天線（**EMCO

3142, 26MHz~ 2GHz)，架設高度亦是 2.34m，而發射與接收天線分別以 10m 長 N 型同軸電纜連結至向量網路分析儀，以測量 S_{21}。

實測時，首先將兩組 Dipole 及一組 Monopole 接收天線裝置在車頂上，接收天線距發射天線 10m，並將發射天線調整為水平極化，且使用三埠向量網路分析儀同時連接 Dipole1、Dipole2 及雙錐對數週期天線，然後以接收天線中央位置為圓心，由 0° 到 360° 每次移動雙錐對數週期天線 2.5°，來獲得兩組 Dipole 天線的水平極化輻射場型。 再調整雙錐對數週期天線成為鉛垂極化，依同樣方式即可得 Monopole 天線的鉛垂極化輻射場型，不過由於 Monopole 之場型變化較小，因此每次移動角度增加為 10°。接著將車輛移開並使用標準天線（雙錐天線及對數週期天線），置於與 Dipole 及 Monopole 天線相同之位置及高度，以分別測量不同標準天線及不同極化之 S_{21} 頻率響應。

功率的單位為 Watt，電壓的單位為 Volt，場強的單位為 Volt/m，我們所要的量測參數為場強，但接收機及場強儀所量到的訊號大小則是功率或電壓。功率、電壓及場強之間的單位可以相互轉換，其間的關係主要與天線的增益，波長及接收機的輸入阻抗有關。

在一個位置的場強若為 E，其功率密度為 E^2/h ，其中 h 為自由空間的特性阻抗，其值為 377Ω。假設接收天線的等效接收面積為 A_e，天線所收到的功率為功率密度乘上接收面積，亦即

$$P_r = (E^2/h)A_e \tag{3.1}$$

假設接收天線的輸入阻抗與接收機的輸入阻抗兩者相匹配，其值皆為 R，則接收機所量到的功率、電壓與電場間的關係為

$$P_r = \frac{V^2}{R} = \frac{E^2 A_e}{h} \tag{3.2}$$

其中 A_e 為接收天線的等效接收面積。天線的等效接收面積與天線增益 G_r 的關係為 $A_e = \frac{l^2 G_r}{4p}$，其中 l 為波長。由(3.1)與(3.2)式，可得到場強與量測電壓值間的關係為

$$E = \sqrt{\frac{h \cdot 4p}{R l^2 G_r}} \cdot V = A_f \cdot V \qquad (3.3)$$

其中 $A_f = \sqrt{\frac{h \cdot 4p}{R l^2 G_r}}$ 又稱為天線因數(Antenna Factor)。當接收機的輸入阻抗為 50Ω 時，量測功率與量測電壓值之間的關係可簡化成

$$\text{dBm} = dBmV - 107\text{dB} \qquad (3.4)$$

又若接收機天線增益 1 為(0dB)，場強值與量測電壓值的關係在波長為 3m(頻率=100MHz)可簡化成

$$dBmV/\text{m} = dBmV + 10.2\text{dB} \qquad (3.5)$$

由天線因數的公式 $A_f = \sqrt{\frac{h \cdot 4p}{R l^2 G_r}}$，若知道天線增益 G_r，即可求得天線因數，其中待測天線的增益及天線因數可以利用已知標準天線的量測值及待測天線的量測值之比值，以及已知天線的增益值及天線因數值之間的關係來獲得。假設校正時皆使用相同的發射天線，使用標準天線做接收時的量測值為 V_S，使用待測天線做接收時的量測值為 V_u，標準天線的增益為 G_S、天線因數為 A_{FS}，而待測天線的增益為 G_u、天線因數為 A_{Fu}，則 G_u 和 A_{Fu} 可分別表示為

$$G_u = (V_u / V_S)^2 \cdot G_S \qquad (3.6)$$

$$A_{Fu} = (V_s / V_u) \cdot A_{FS} \qquad (3.7)$$

應用上述方法所計算出的 Dipole1、Dipole2 及 Monopole 在車頂上之

等效天線因數分別討論如下：

(1) Dipole1 等效天線因數：圖 3-21 為 Dipole1 在車頂上之等效天線因數的測量結果，可明顯看出在低頻的部分即 400MHz 之前的天線因數較小且比較接近半波長偶極天線之天線因數，即 Dipole1 在此範圍內的接收特性較好，而一旦高於 400MHz 之後，特性便明顯變差，理由是因為當初為了用單一 Dipole 接收 80MHz~700MHz 的電台訊號，乃選擇在頻率範圍內反射損失特性最平穩的 DB-3(140MHz~400MHz)，且將 Dipole 長度固定在 120cm(在 125MHz 為半波長)，故在半波長及一倍波長的頻率，即 125MHz 與 250MHz 附近的特性會較好。不過，經校正後亦能使用此雙極天線測量 80MHz~700MHz 範圍內之電波訊號。

(2) Dipole2 等效天線因數：圖 3-22 為 Dipole2 在車頂上之等效天線因數的測量結果，因為也是使用 DB-3 且與 Dipole1 有相同長度，故其特性與 Dipole1 大致相同，最大的差異在於 Dipole1 與 Dipole2 放置於車頂的位置不同並且角度相差了 90 度，其中由於車體對 Dipole1 的影響較大，使得 Dipole1 的天線因數在 80MHz~250MHz 間明顯較 Dipole2 的天線因數高。此外，又以另一個實驗來驗證兩個相同規格 Dipole Balun 的 Dipole1 與 Dipole2 的接收特性是否一致，首先將雙錐天線架設於 2.34m 高度當作發射天線，並在 10m 遠的相同高度、位置及極化，分別以 Dipole1 與 Dipole2 來接收訊號，結果如圖 3-23 所示。可由圖中看出兩者的接收特性幾乎一致，這驗證了兩天線在車頂上之等效天線因數的差異是受天線位置及車體影響所致。圖 3-24 及圖 3-25 分別 Dipole1、Dipole2 針對警察廣播電台頻率（94.3MHz）所量測出之場型，由圖中可看出車體之影響及短雙極天線的 8 字型場型特性，而等效天線因數便是取每個頻率之場型的最大值計算所得，圖 3.26 為輸入阻抗 50O 之半波長偶極天線的天線因數理論值。

(3) Monopole 等效天線因數：圖 3-27 為 Monopole 在車頂上之等效天線因

數的測量結果，其中此 Monopole **附有一連接電纜，而其電纜損失特性已包含在校正所得之** Monopole **等效天線因數中。**

圖 3-19 **『A 量測系統』天線因數校正之實測環境**

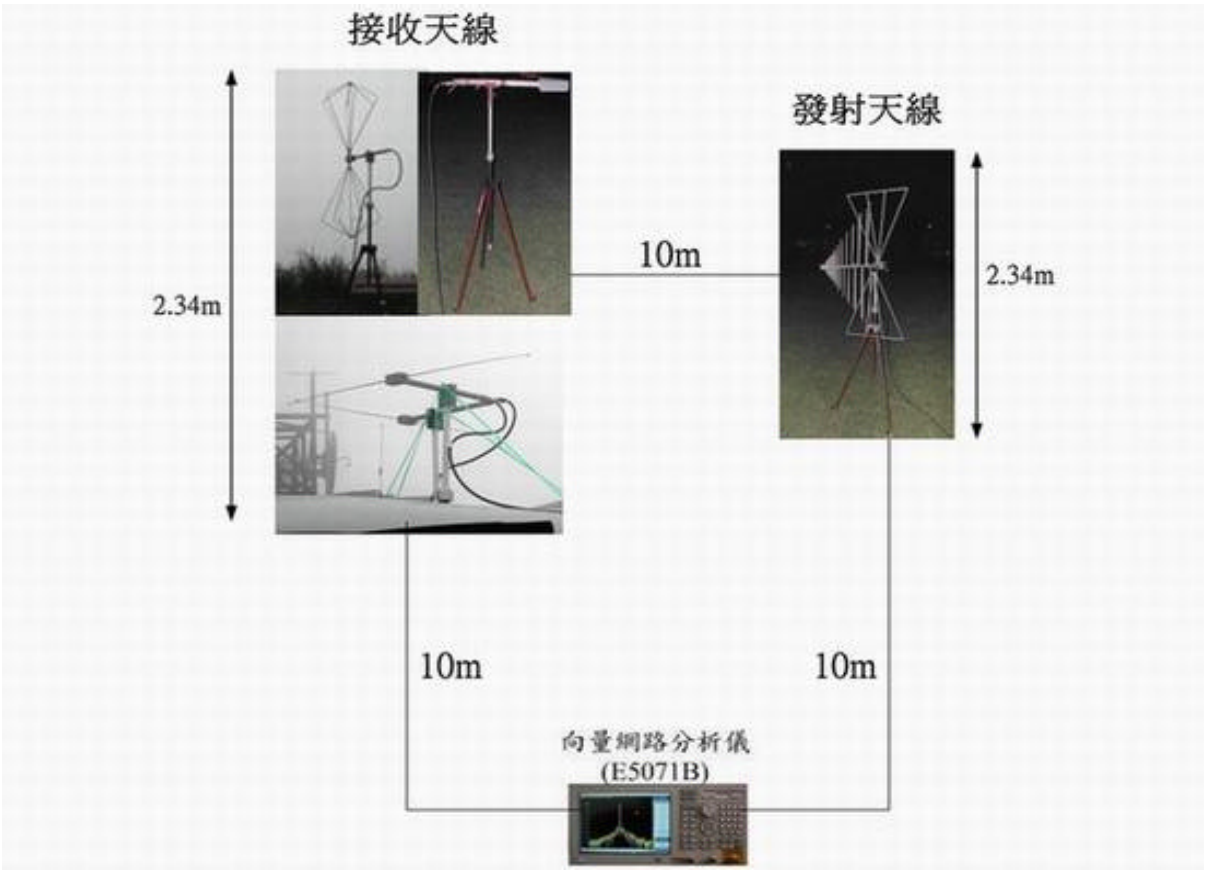


圖 3-20 **天線因數校正測量之架構**

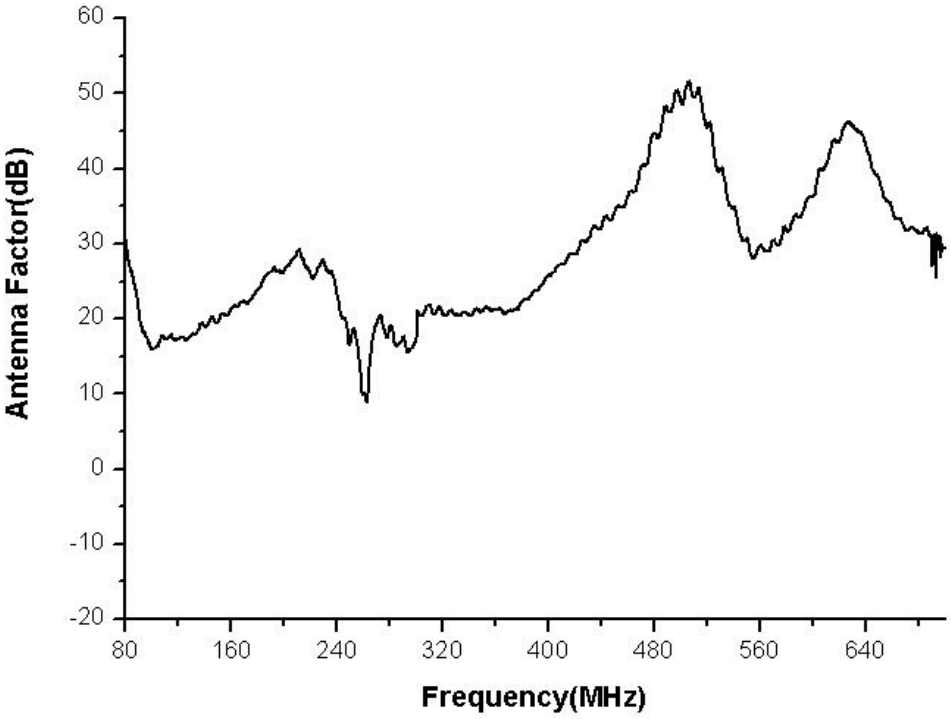


圖 3-21『A **量測系統**』Dipole1 **在車頂之等效天線因數**

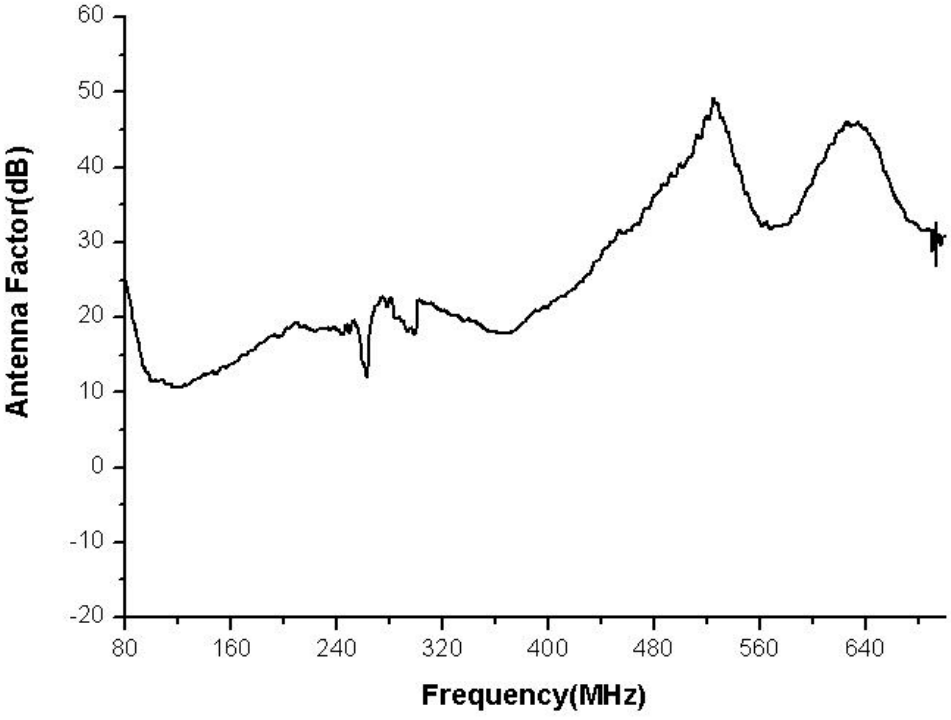


圖 3-22 『A **量測系統**』Dipole2 **在車頂之等效天線因數**

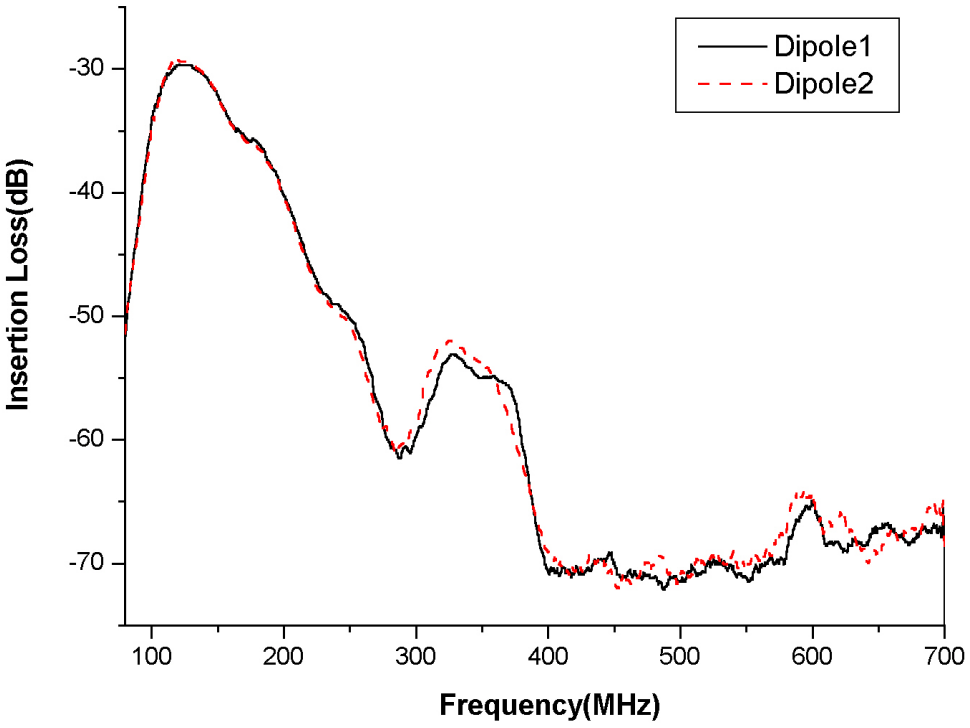


圖 3-23 **『A 量測系統』**Dipole1 **與** Dipole2 **接收特性比較**

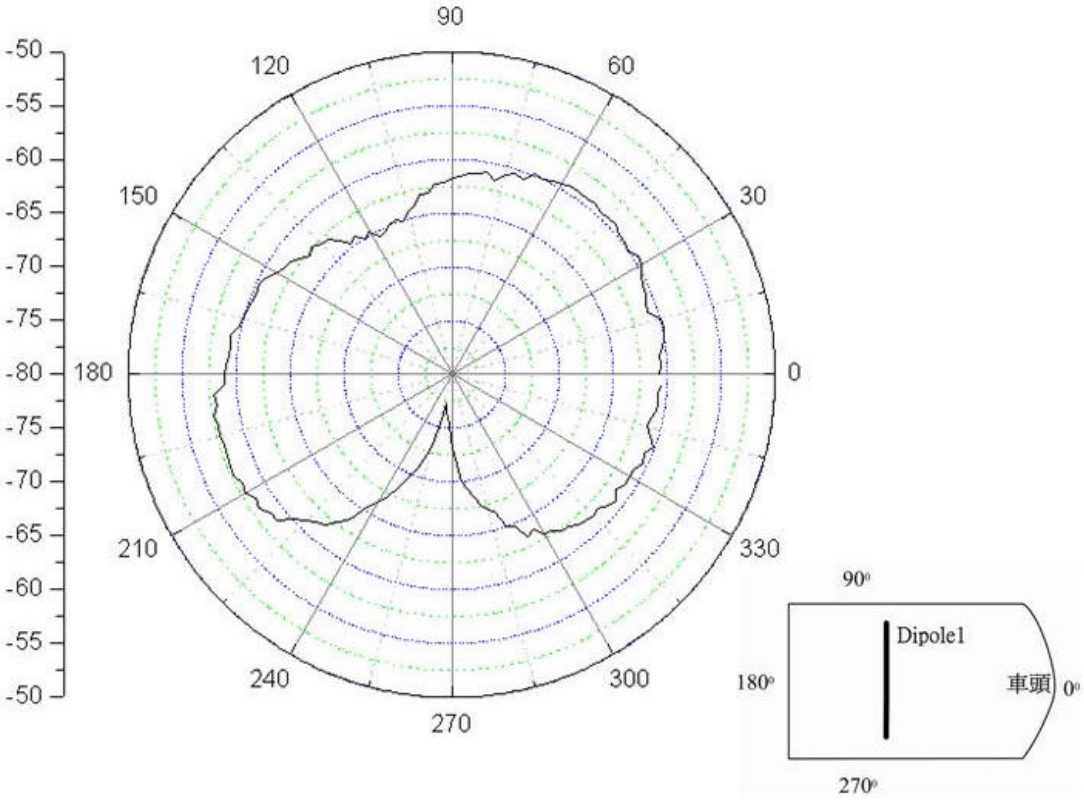


圖 3-24 **『A 量測系統』**Dipole1 **在** 94.3MHz **之量測場型**

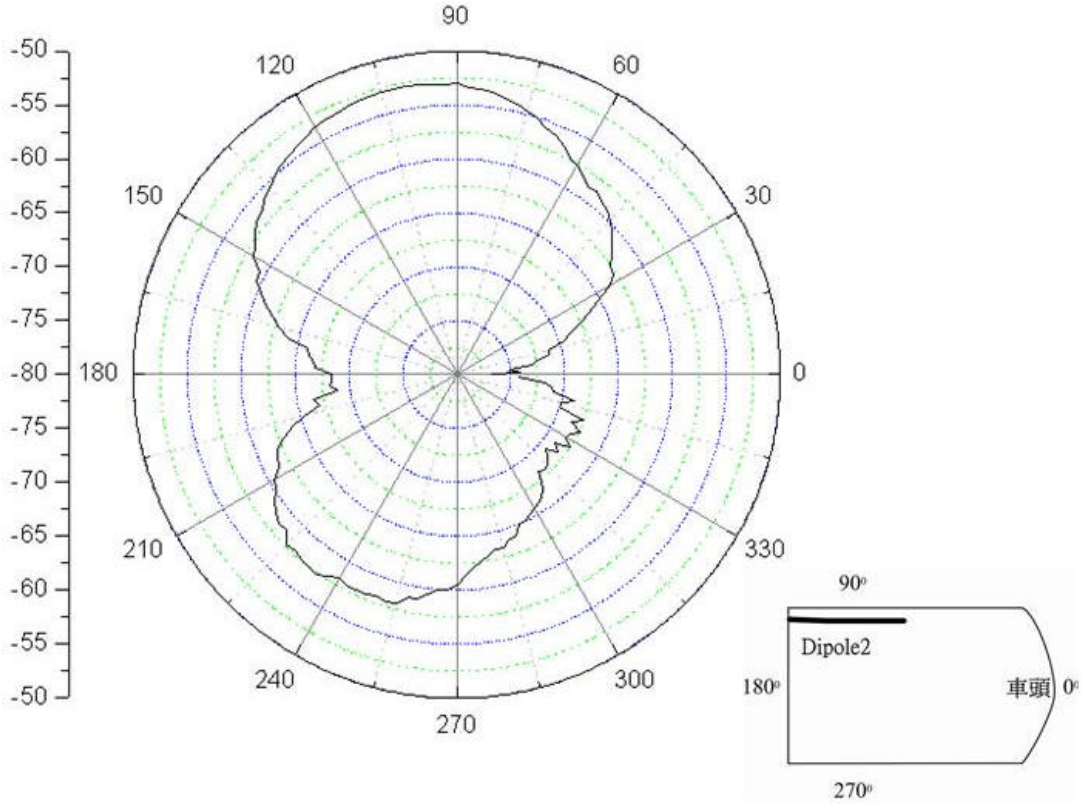


圖 3-25 **『A 量測系統』**Dipole2 **在** 94.3MHz **之量測場型**

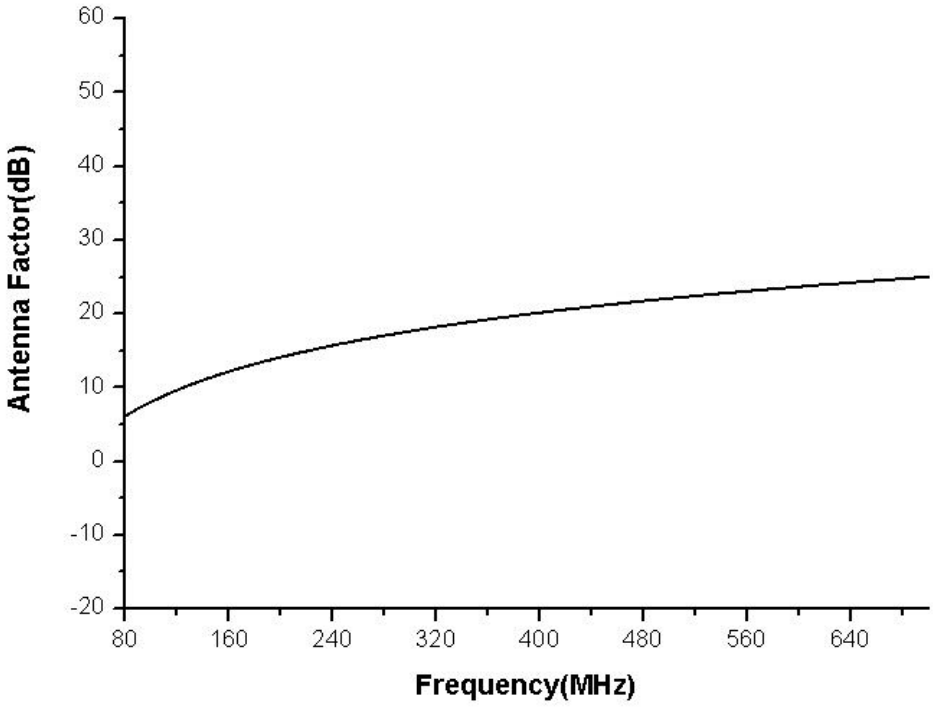


圖 3-26 **半波長偶極天線的天線因數理論值**

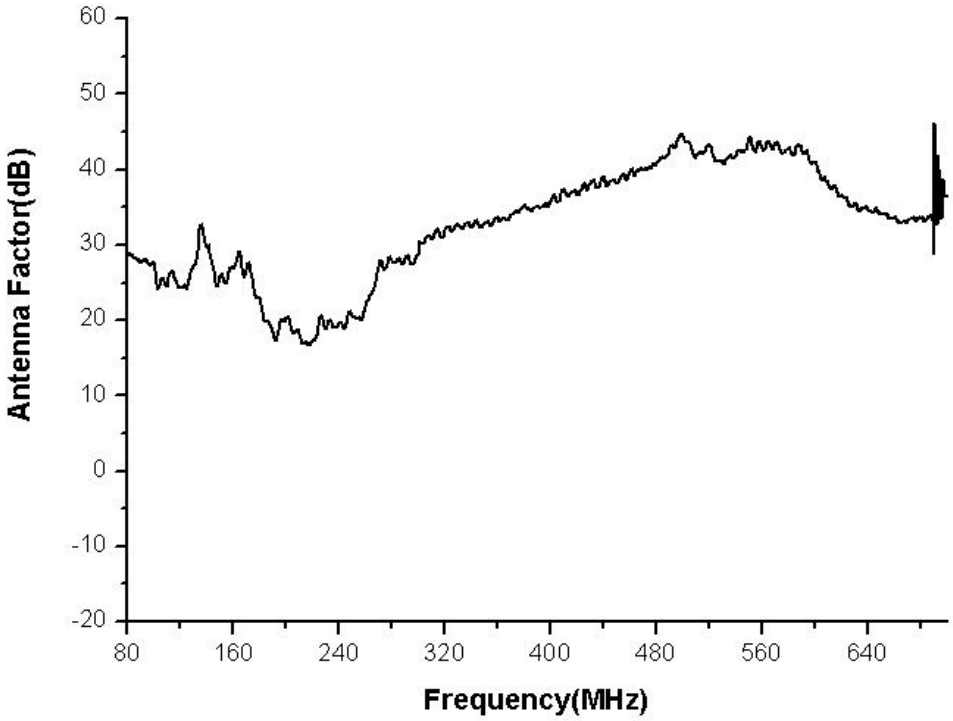


圖 3-27 『A 量測系統』Monopole 在車頂之等效天線因數（含連接電纜）

3.4 『B 量測系統』之校正

『B 量測系統』是將量測用的兩組 Dipole 及兩組 Monopole 天線裝置在車頂上，以包含三個極化方向，並配合車內的一部頻譜分析儀、筆記型電腦以及 GPS 定位系統，來同時記錄訊號在不同位置（GPS 座標）時，三個極化方向的電波場強分佈。然而，車體對天線的效應、連接電纜損失及天線的場型與接收特性頻率效應等，皆會對量測值產生影響，因此必須對整個量測系統做校正，以得出此四組天線在車體上之實際等效天線因數，以由量測數據計算得到所測訊號的電波場強大小。

3.4.1 『B 量測系統』Dipole 及 Monopole 之特性

為了用單一天線接收 80MHz~700MHz 內電台訊號三個極化分量，乃使用向量網路分析儀先進行天線反射損失之特性測試，在實際架構中，四

組天線需經由 2.5 公尺的 SMA 線＋coaxial switch+1.8 公尺的 coaxial 才會連接到頻譜分析儀，這些中間線路在進行天線反射損失之特性測試之前便已完成校正；因此圖 3-28 至圖 3-31 分別為 Dipole1、Dipole2、Monopole1 及 Monopole2 在 80MHz 700 MHz 實際的反射損失（return loss）。

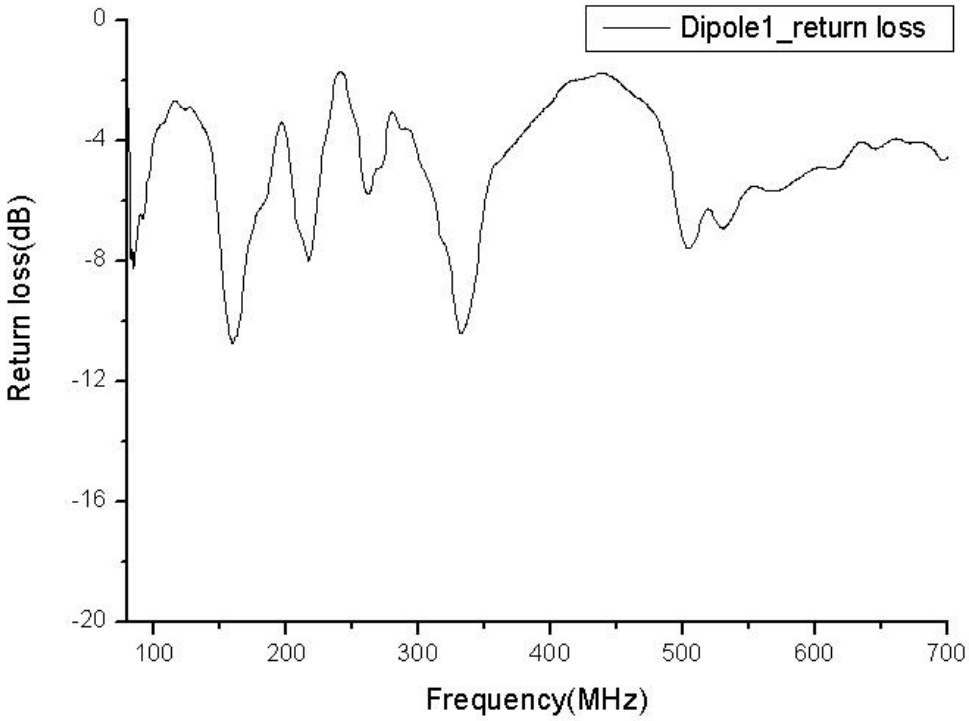


圖 3-28 『B 量測系統』Dipole1 天線之反射損失

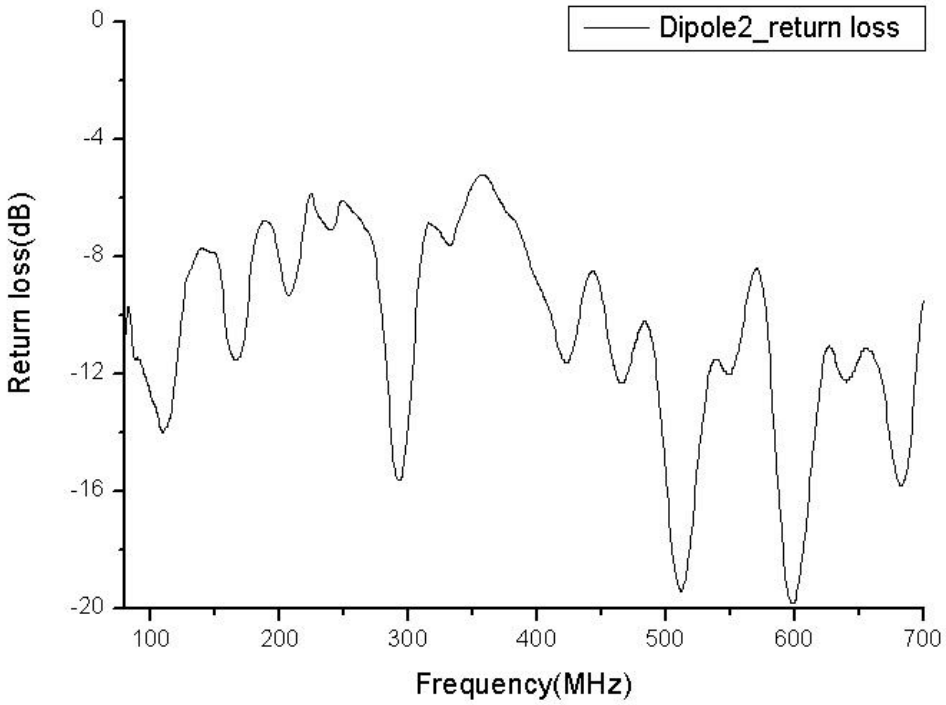


圖 3-29 **『B 量測系統』**Dipole2 **天線之反射損失**

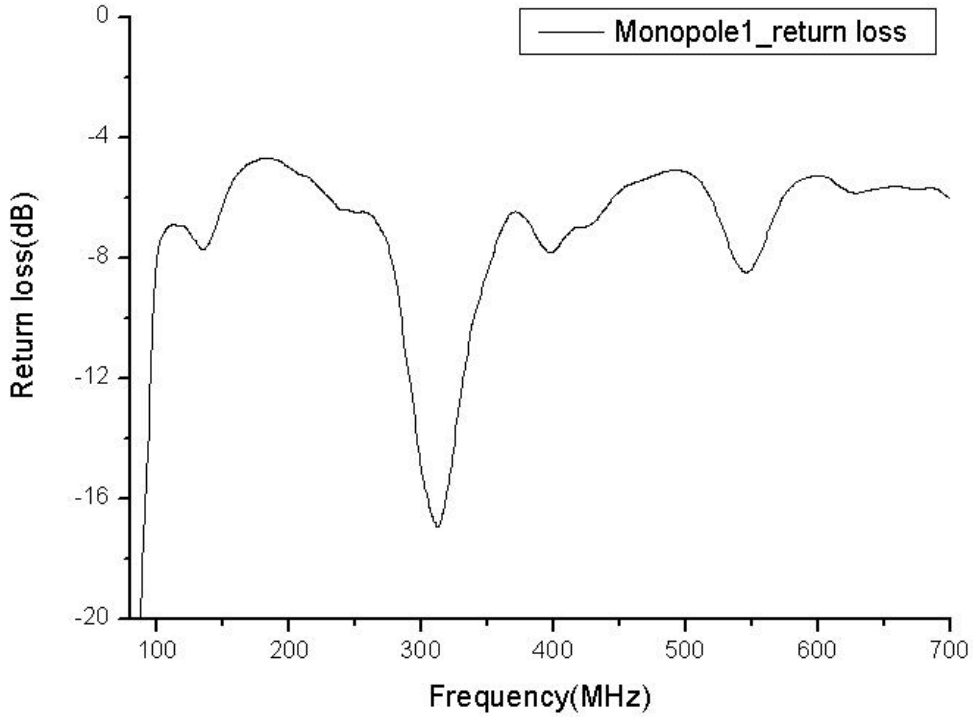


圖 3-30 **『B 量測系統』**Monopole1 **天線之反射損失**

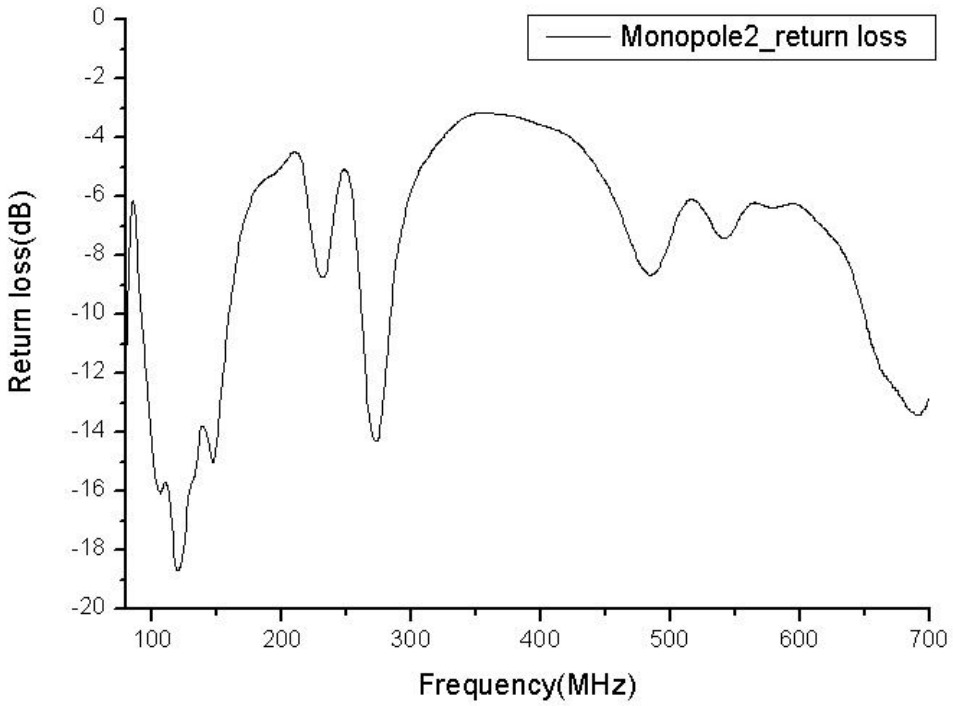


圖 3-31 『B 量測系統』Monopole2 天線之反射損失

3.4.2 校正系統之架構及校正結果

校正系統是使用三埠向量網路分析儀（Agilent E5071B）、雙錐天線、對數週期天線以及雙錐對數週期天線等標準天線，於開放空間中進行測量，並應用向量網路分析儀之平滑(Smoothing)功能，設定為 1.5%，將周圍環境產生之干擾雜訊降低，來獲得正確的S_{21}頻率響應量測結果。

本實驗選擇台灣大學水源校區進行天線校正，實驗環境如圖 3-32 所示，圖 3-33 為天線因數校正測量之架構，其中所使用之標準接收天線為雙錐天線（EMCO3110B, 30MHz~ 300MHz）及對數週期天線（EMCO 3147, 200MHz~ 5GHz），來涵蓋 80MHz~ 700MHz 的校正量測範圍，此標準天線架設高度為 2.34m，以和 Dipole 及 Monopole 量測天線架設在車頂時之高度相同，並距發射天線 10m，此發射天線固定為雙錐對數週期天線（EMCO

3142, 26MHz~ 2GHz)，架設高度亦是 2.34m，而發射與接收天線分別以 10m 長 N 型同軸電纜連結至向量網路分析儀，以測量 S_{21}。

實測時，首先將兩組 Dipole 及兩組 Monopole 接收天線裝置在車頂上，接收天線距發射天線 10m，並將發射天線調整為水平極化，且使用三埠向量網路分析儀同時連接 Dipole1、Dipole2 及雙錐對數週期天線，然後以接收天線中央位置為圓心，由 0° 到 360° 每次移動雙錐對數週期天線 5°，藉由控制 coaxial switch 來切換四組天線，來獲得兩組 Dipole 及兩組 Monopole 天線的水平極化輻射場型。再調整雙錐對數週期天線成為鉛垂極化，依同樣方式即可得兩組 Dipole 及兩組 Monopole 天線的鉛垂極化輻射場型。接著將車輛移開並使用標準天線（雙錐天線及對數週期天線），置於與 Dipole 及 Monopole 天線相同之位置及高度，以分別測量不同標準天線及不同極化之 S_{21} 頻率響應。

應用式子(3.1)~(3.7)所計算出的 Dipole1、Dipole2 及 Monopole1、Monopole2 在車頂上之等效天線因數分別討論如下：

(1) Dipole1 等效天線因數：圖 3-34 為 Dipole1 天線在車頂上之等效天線因數的測量結果，Dipole1 天線與網路分析儀之間的連接線路為 2.5 公尺的 SMA 線＋coaxial switch+1.8 公尺的 coaxial，而這些中間連接線路的損失特性已包含在校正所得之 Dipole1 等效天線因數中。由於設計的天線為 flat-plane bow-tie antenna 型式，由 L=0.8? 可得到其中心頻率，L 為 Dipole 的長度，在自行設計天線中 L=88cm，夾角約 85°，因此中心頻率大約在 170MHz，故在 0.8 倍波長及 1.6 倍波長的頻率，即 170MHz 與 340MHz 附近的接收特性會較好，由圖中便可加以驗證，同時也可看出在 FM 頻段的接收特性也很好，應該是與其他兩組 Monopole 天線及車體產生的效應所致。

(2) Dipole2 等效天線因數：圖 3-35 為 Dipole2 天線在車頂上之等效天線因數的測量結果，Dipole2 天線同樣也是 flat-plane bow-tie antenna 型式, 其設計的尺寸及規格與 Dipole1 完全相同, 最大的差異在於 Dipole1 與 Dipole2 放置於車頂的位置不同並且角度相差了 90 度，使得與車體及兩組 Monopole 天線產生的效應不同，由圖 3-28 與圖 3-29 的即可看出兩者的反射損失（return loss）的差異較大。但比較圖 3-34 與圖 3-35 Dipole1 與 Dipole1 的等效天線因數在 80MHz~700MHz 量測頻率範圍內卻是相似的，表示其他兩組 Monopole 天線及車體對兩組 Dipole 天線產生的效應很像，因此，Dipole1 及 Dipole2 天線在車體上之接收特性很相似。

(3) Monopole1 等效天線因數：圖 3-36 為 Monopole1 天線在車頂上之等效天線因數的測量結果，同樣也是 flat-plane bow-tie antenna 型式，其尺寸為邊長 50cm 的正三角型，其中此 Monopole1 天線與網路分析儀之間的連接線路為 2.5 公尺的 SMA 線＋coaxial switch+1.8 公尺的 coaxial，而這些中間連接線路的損失特性已包含在校正所得之 Monopole1 等效天線因數中。

(4) Monopole2 等效天線因數：圖 3-37 為 Monopole2 天線在車頂上之等效天線因數的測量結果，其設計的尺寸及規格與 Monopole1 天線完全相同，差異在於 Monopole1 與 Monopole2 放置於車頂的位置不同，不過因為 Monopole1 與 Monopole2 的位置是相對應的，使得對於車體及兩組 Dipole 的效應完全相同，由圖 3-30 與圖 3-31 的即可看出兩者的反射損失（return loss）的大致相同，由圖 3-36 與圖 3-37 則可以看出 Monopole1 與 Monopole2 的天線因數在 80MHz~700MHz 量測頻率範圍內也是很相似，因此 Monopole1 及 Monopole2 天線在車體上之接收特性大致相同的。

圖 3-38~圖 3-40 分別為 Dipole1 天線針對三個不同頻段範圍中 94.3MHz(警察廣播電台頻率)、175.25MHz 及 581MHz 所量測出之場型，由圖中可看出在不同頻段範圍中之接收特性及 Dipole 天線的 8 字型場型特性，等效天線因數便是取每個頻率之場型的最大值計算所得，由圖中比較可看出在低頻的接收特性較好，但高頻時的接收特性仍能保持 Dipole 天線的 8 字型場型特性。

圖 3-41~圖 3-43 分別為 Dipole2 天線針對三個不同頻段範圍中 94.3MHz(警察廣播電台頻率)、175.25MHz 及 581MHz 所量測出之場型，由圖中可看出在不同頻段範圍中之接收特性及 Dipole 天線的 8 字型場型特性，相較於 Dipole1 的結果，Dipole2 與 Dipole1 的差異在於放置於車頂的位置不同並且角度相差了 90 度，因此接收場型很相近，差異只有 Dipole 天線的 8 字型場型的角度相差 90 度，驗證了 Dipole2 與 Dipole1 在量測頻率範圍(80MHz~ 700MHz)的接收特性是相同的，並不因為車體及 Monopole 的效應而有太大差異。

圖 3-44~圖 3-46 分別為 Monopole1 天線針對三個不同頻段範圍中 94.3MHz(警察廣播電台頻率)、175.25MHz 及 581MHz 所量測出之場型，由圖中可看出在不同頻段範圍中之接收特性及 Monopole 天線的場型特性，由圖中比較可看出在低頻的接收特性較好，而高頻時的場型較差，且高頻時在 Monopole1 天線相對應的另一側方向接收特性很差，可能在高頻時天線位置及車體效應的影響會變大，且受量測架構中其他天線的影響，在某一方向的接收能力較差，因此使用二組單極天線來避免這個缺點，取量測值較大者來代表單極天線的場強量測值，這便是量測系統在 Monopole1 天線相對應的另一側位置增加 Monopole2 天線的原因，藉由取其最大值而克服在高頻時接收特性的缺點。

圖 3-47~圖 3-49 分別為 Monopole2 針對三個不同頻段範圍中 94.3MHz(警察廣播電台頻率)、175.25MHz 及 581MHz 所量測出之場型，由圖中可看出在不同頻段範圍中之接收特性及 Monopole 天線的場型特性，

圖 3.50~圖 3.52 為校正所使用的標準天線之原廠天線因數資料，其中包括雙錐天線(EMCO3110B)、對數週期天線(EMCO3147)、以及雙錐對數週期天線(EMCO3142)，至於量測所使用的 N 型 10m 及 1.8m 同軸電纜在不同頻率時的損失量測值乃如圖 3.53 和圖 3.54 所示

圖 3-32 **『B 量測系統』天線因數校正之實測環境**

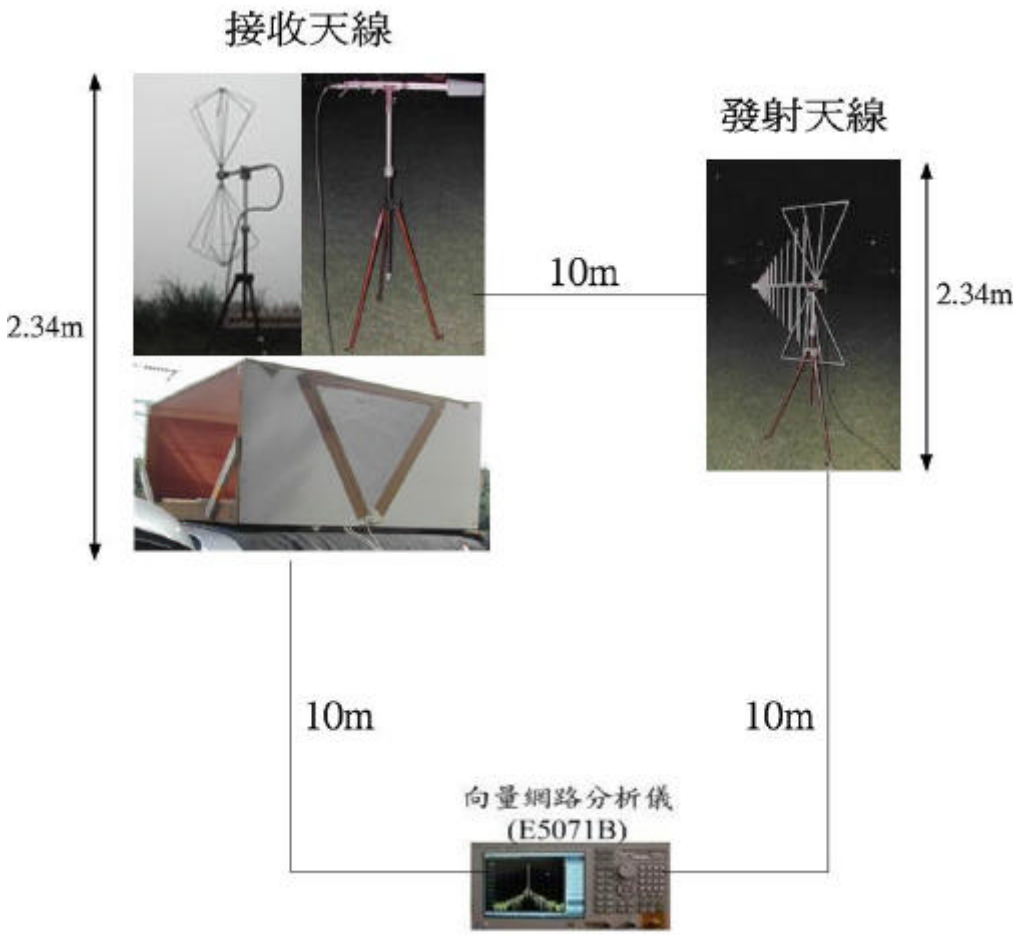


圖 3-33『B **量測系統』天線因數校正測量之架構**

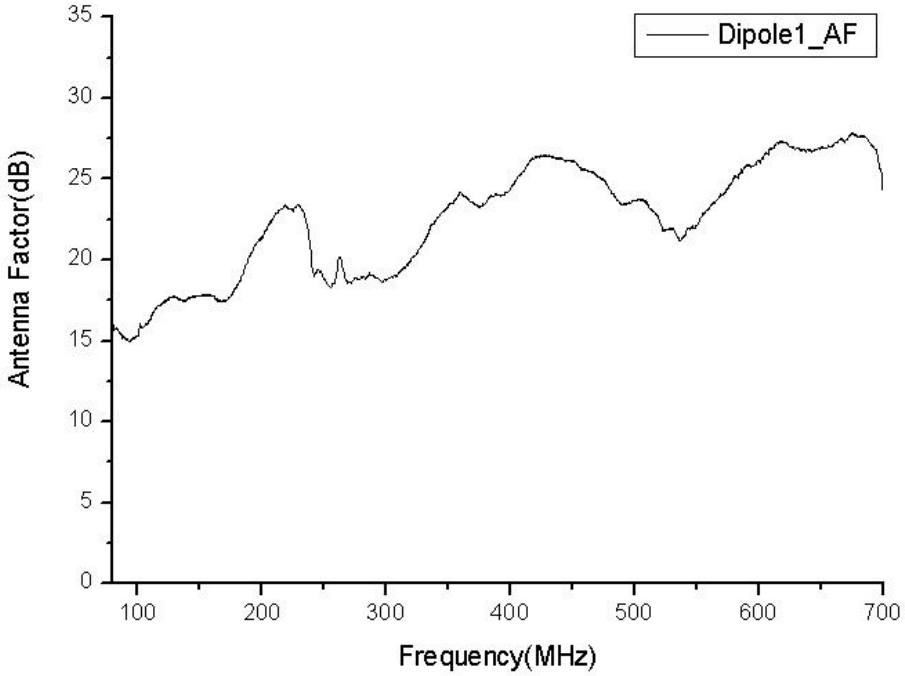


圖 3-34　**『B 量測系統』**Dipole1 **在車頂之等效天線因數**

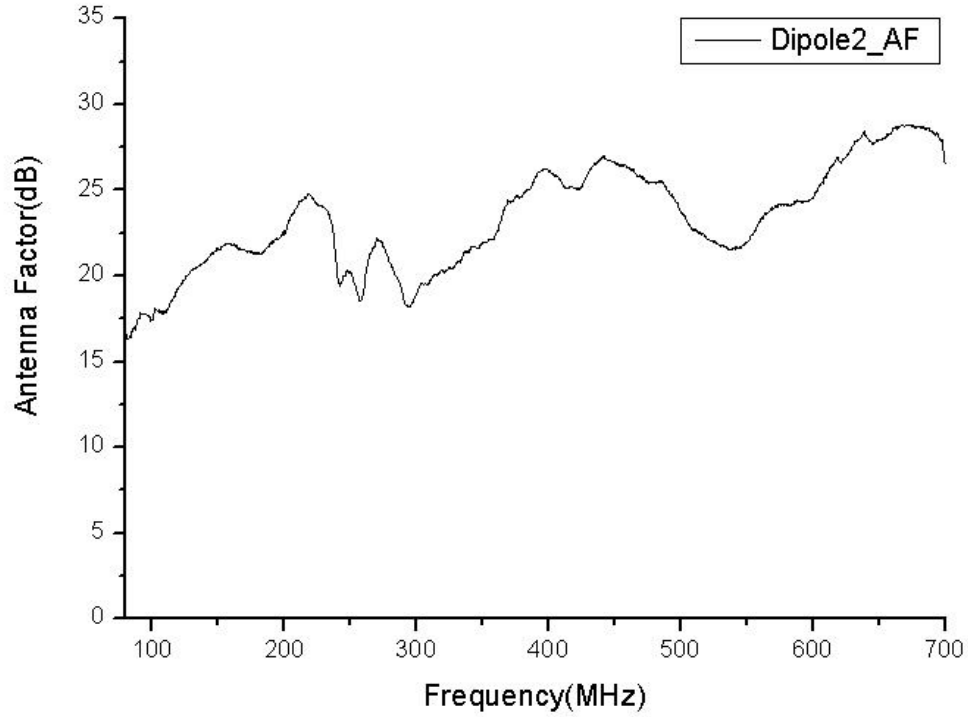


圖 3-35　**『B 量測系統』**Dipole2 **在車頂之等效天線因數**

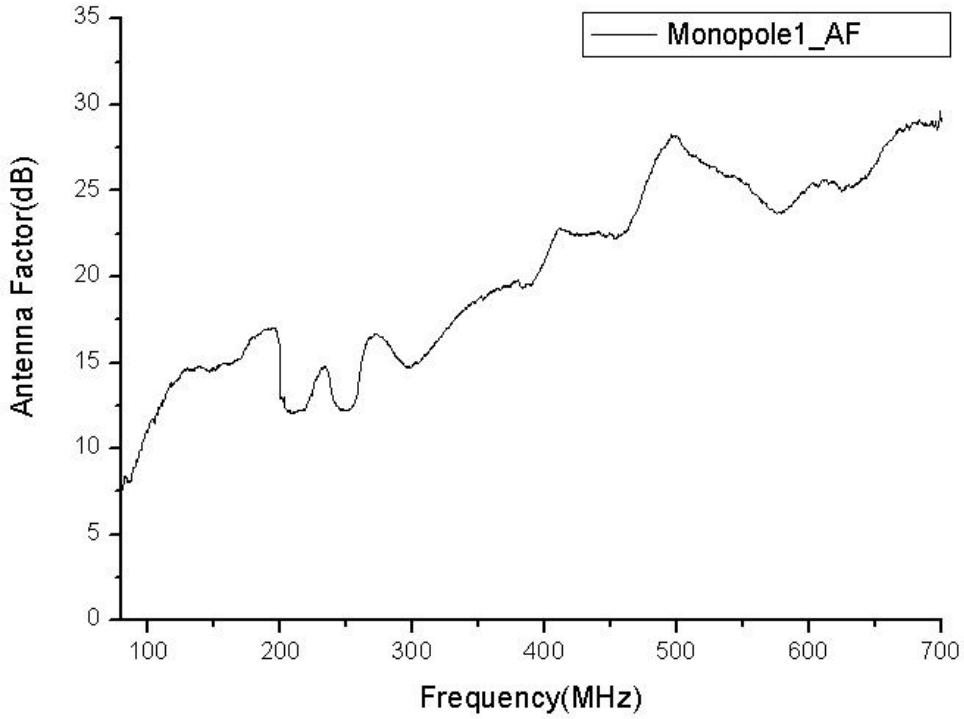


圖 3-36　**『B 量測系統』**Monopole1 **在車頂之等效天線因數**

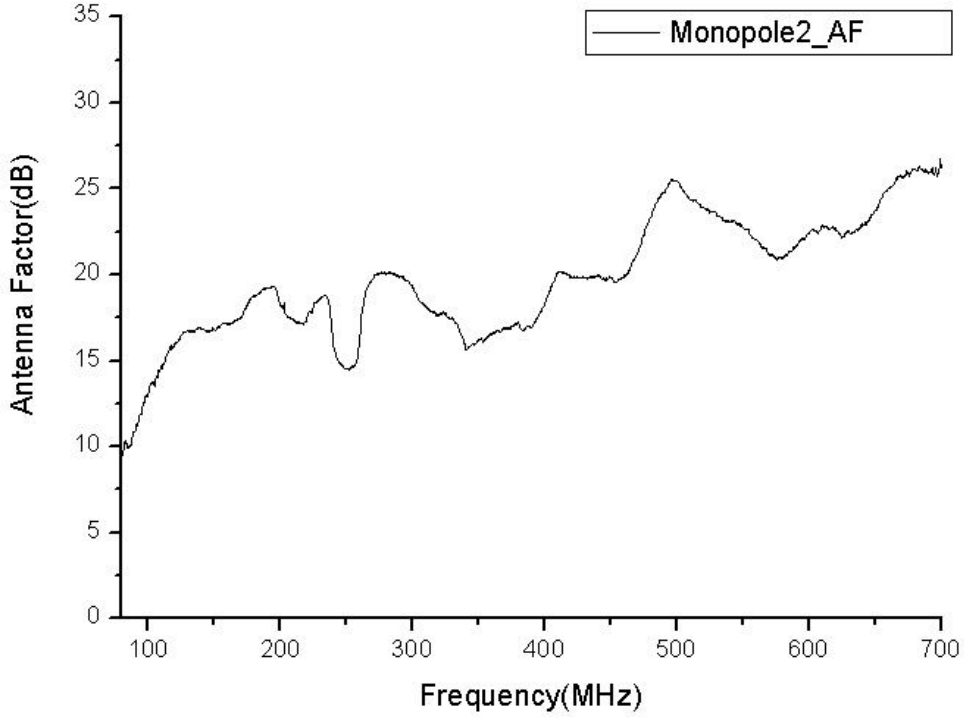


圖 3-37　**『B 量測系統』**Monopole2 **在車頂之等效天線因數**

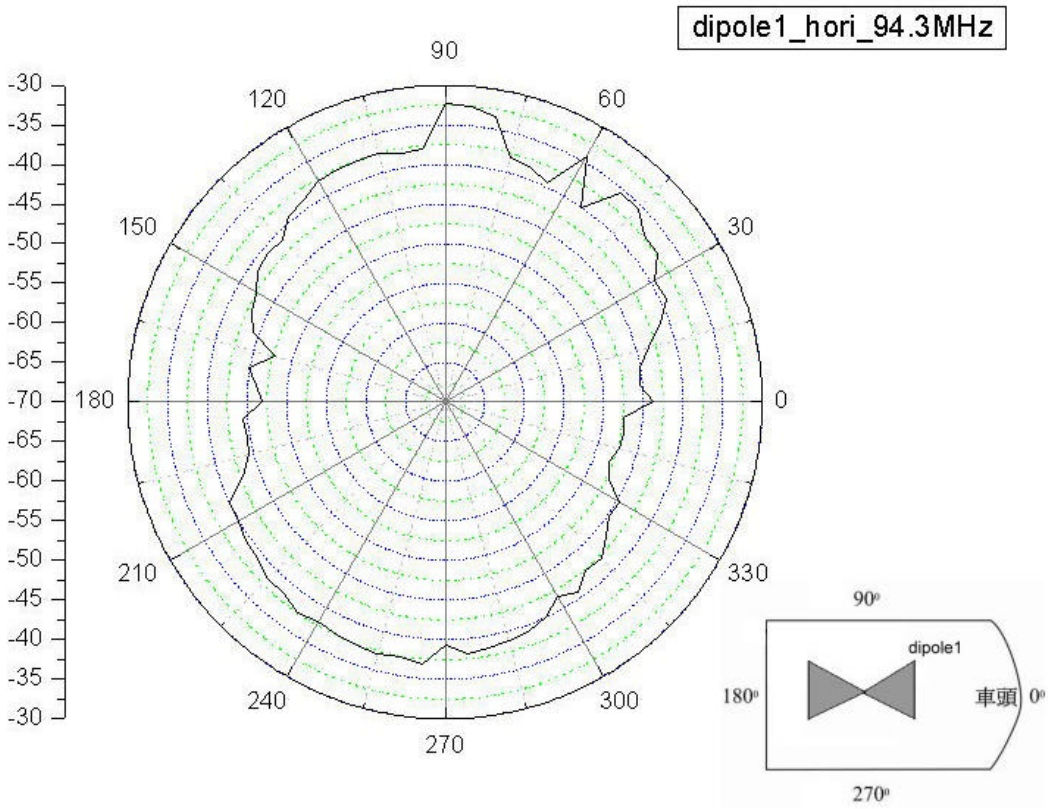


圖 3-38　**『B 量測系統』**Dipole1 **在** 94.3MHz **之量測場型**

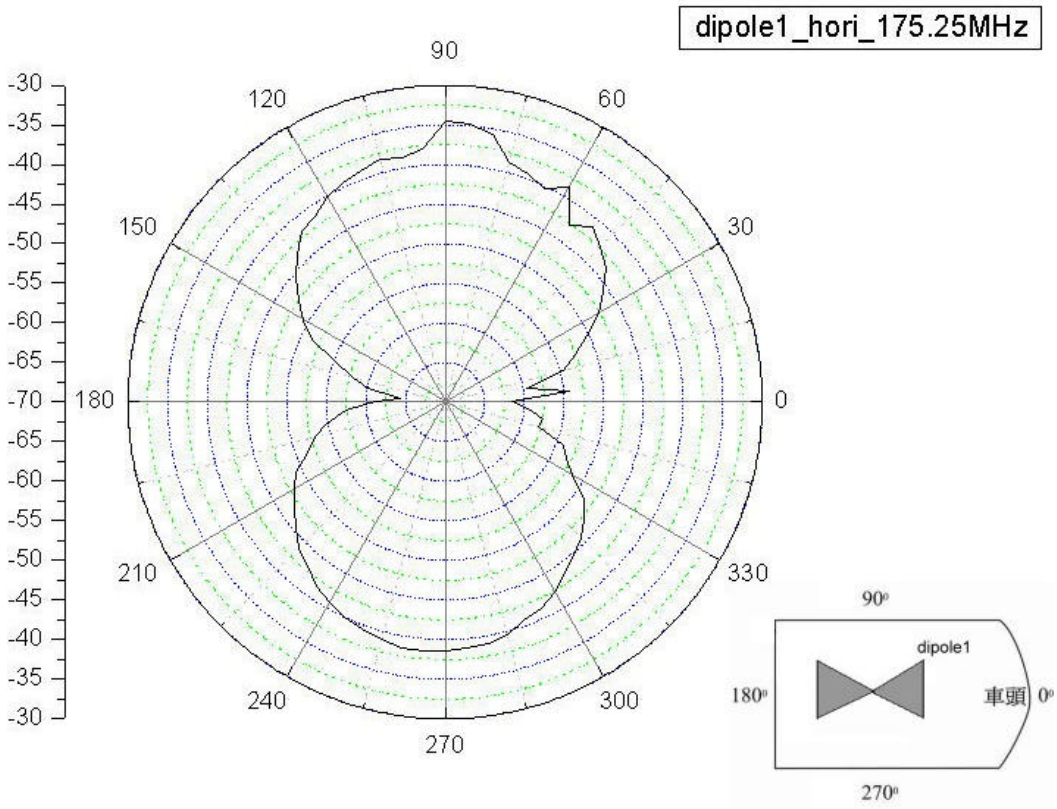


圖 3-39　**『B 量測系統』**Dipole1 **在** 175.25MHz **之量測場型**

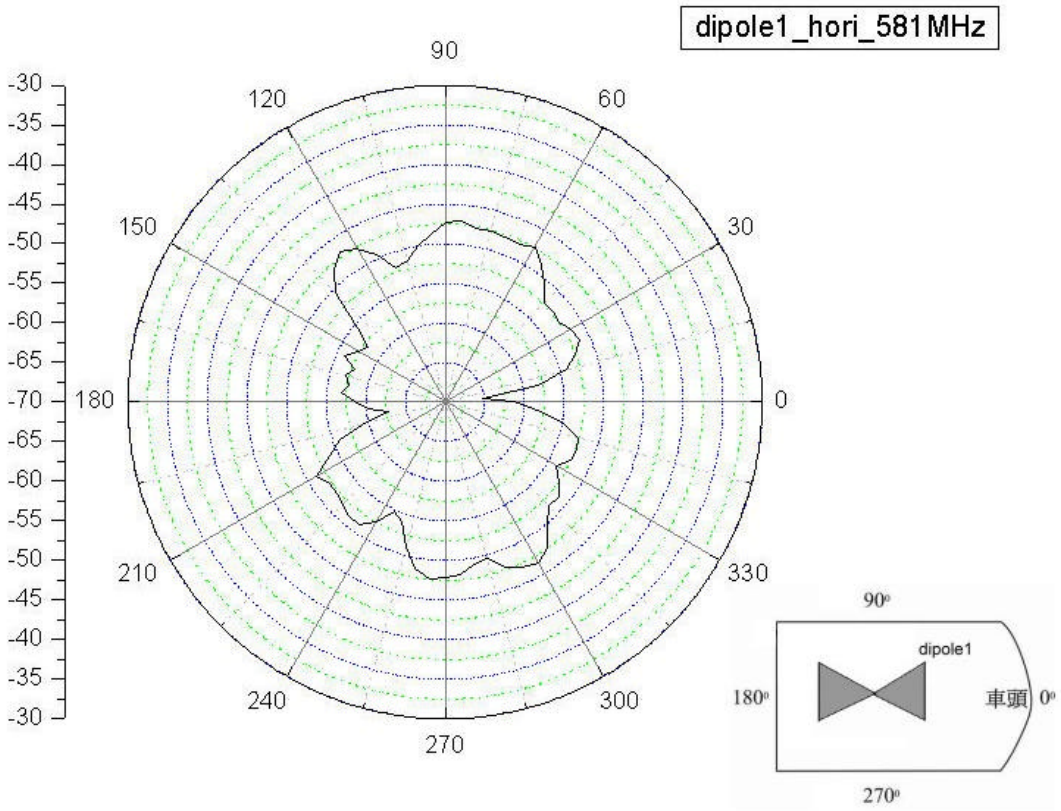


圖 3-40　**『B 量測系統』**Dipole1 **在** 581MHz **之量測場型**

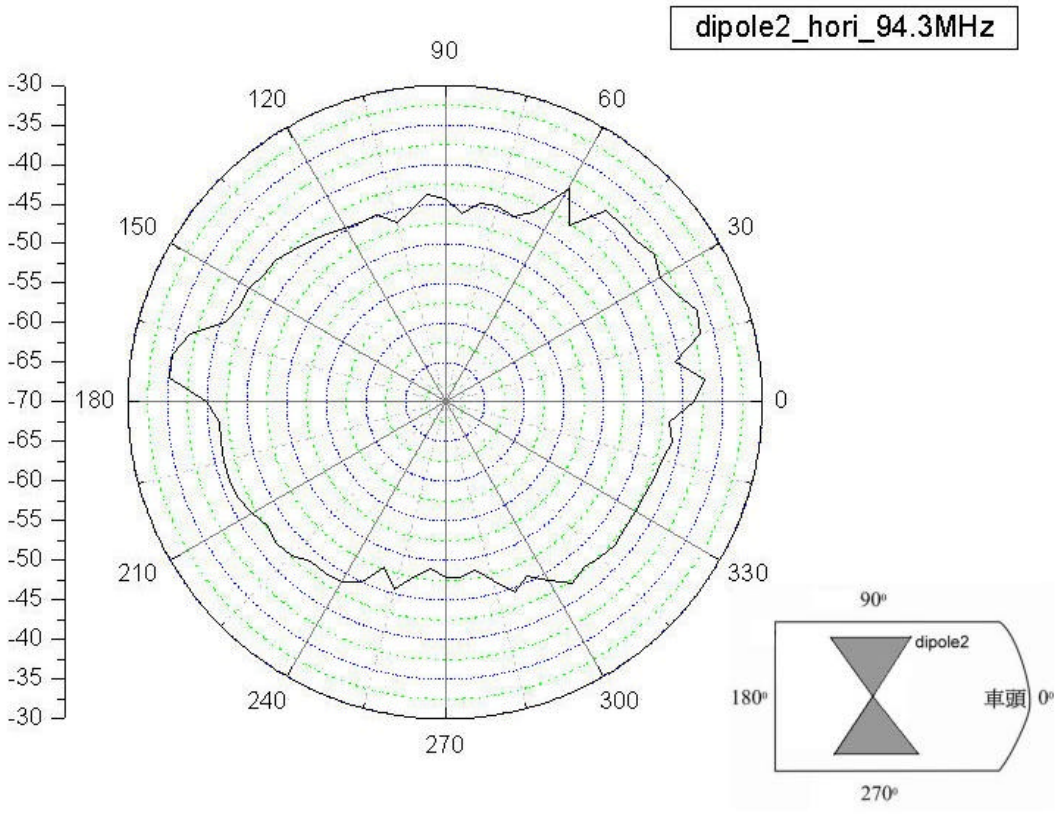


圖 3-41　**『B 量測系統』**Dipole2 **在** 94.3MHz **之量測場型**

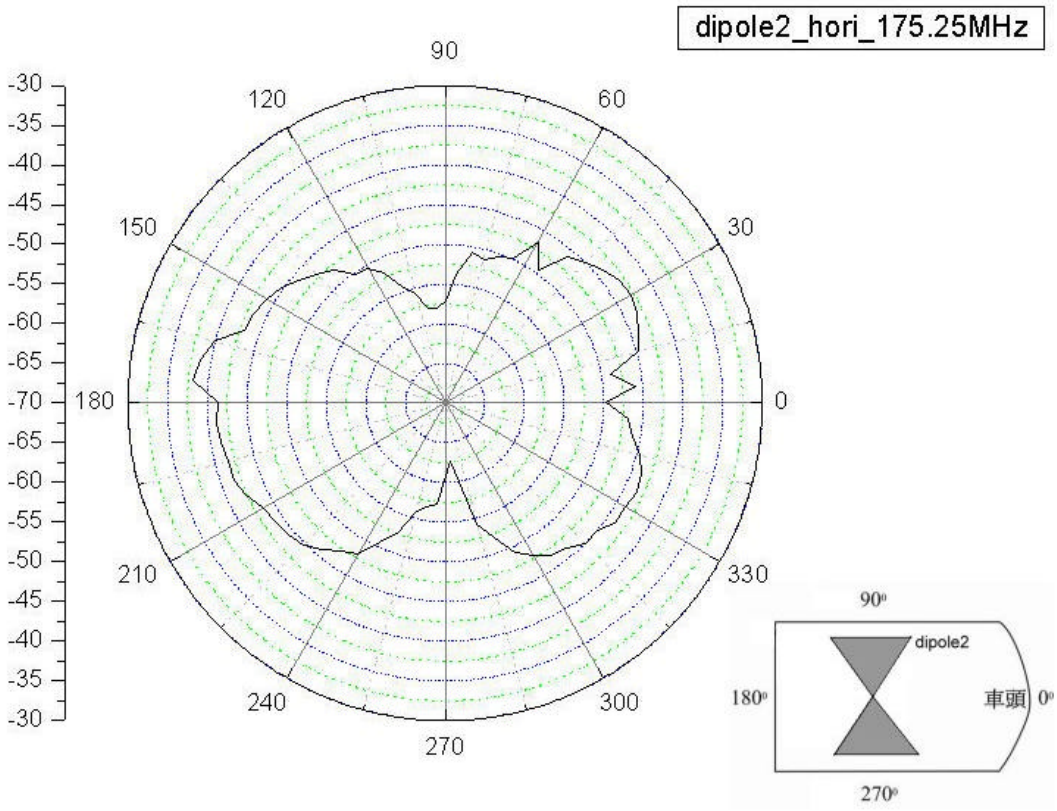


圖 3-42 **『**B **量測系統』**Dipole2 **在** 175.25MHz **之量測場型**

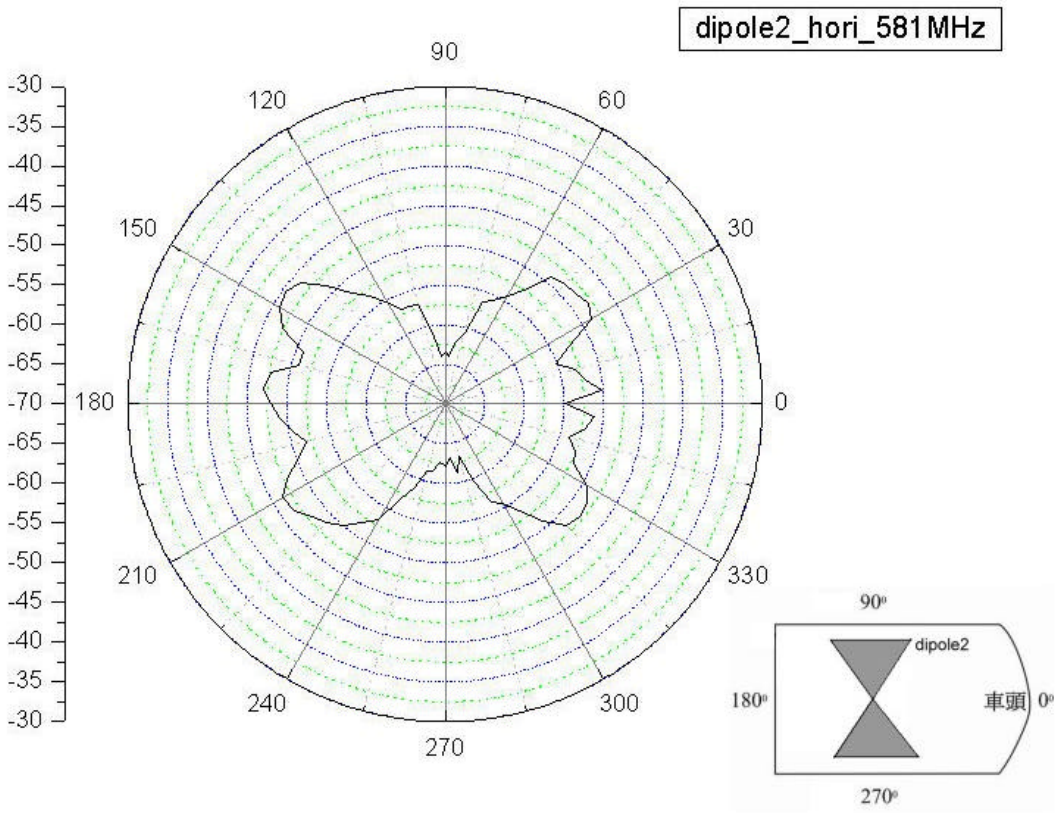


圖 3-43 **『**B **量測系統』**Dipole2 **在** 581MHz **之量測場型**

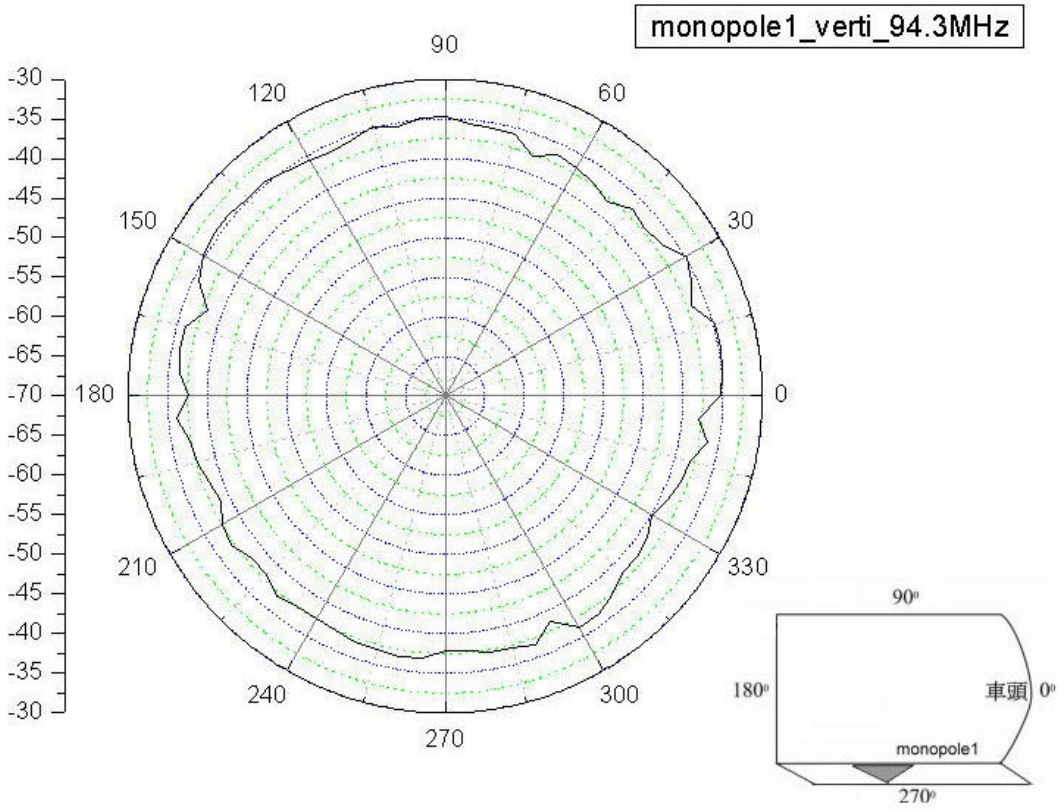


圖 3-44 **『B 量測系統』**Monopole1 **在** 94.3MHz **之量測場型**

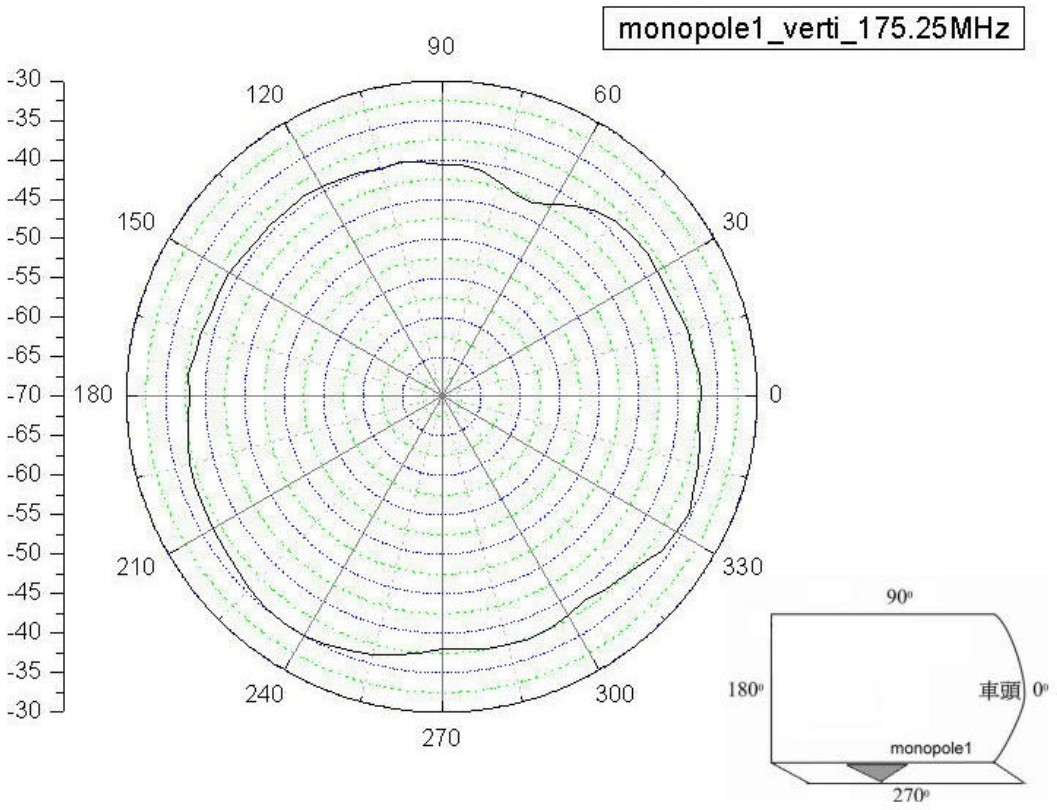


圖 3-45 **『B 量測系統』**Monopole1 **在** 175.25MHz **之量測場型**

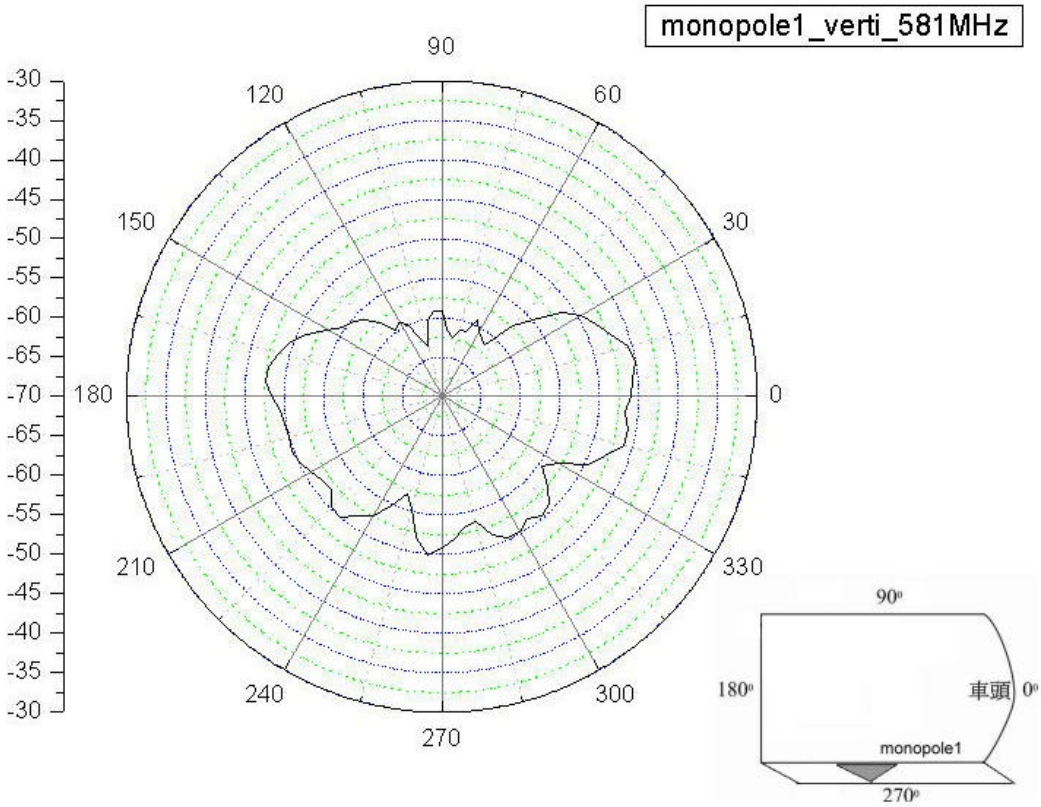


圖 3-46 **『B 量測系統』**Monopole1 **在** 581MHz **之量測場型**

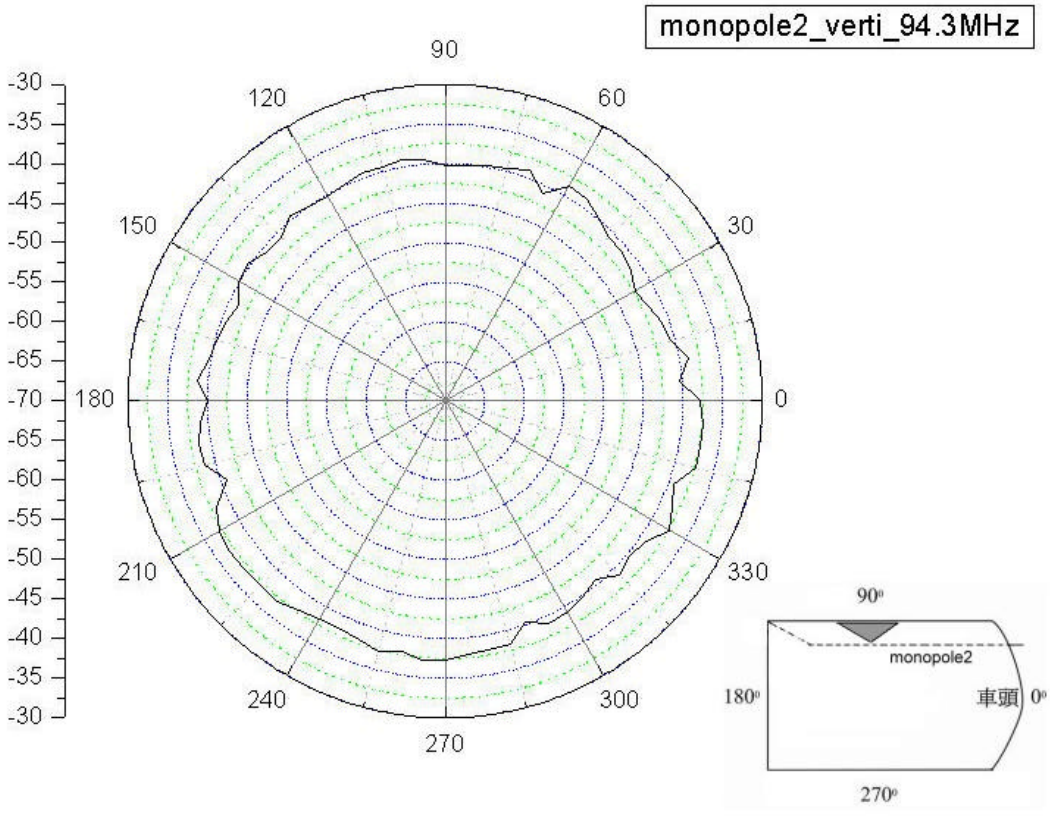


圖 3-47 **『B 量測系統』**Monopole2 **在** 94.3MHz **之量測場型**

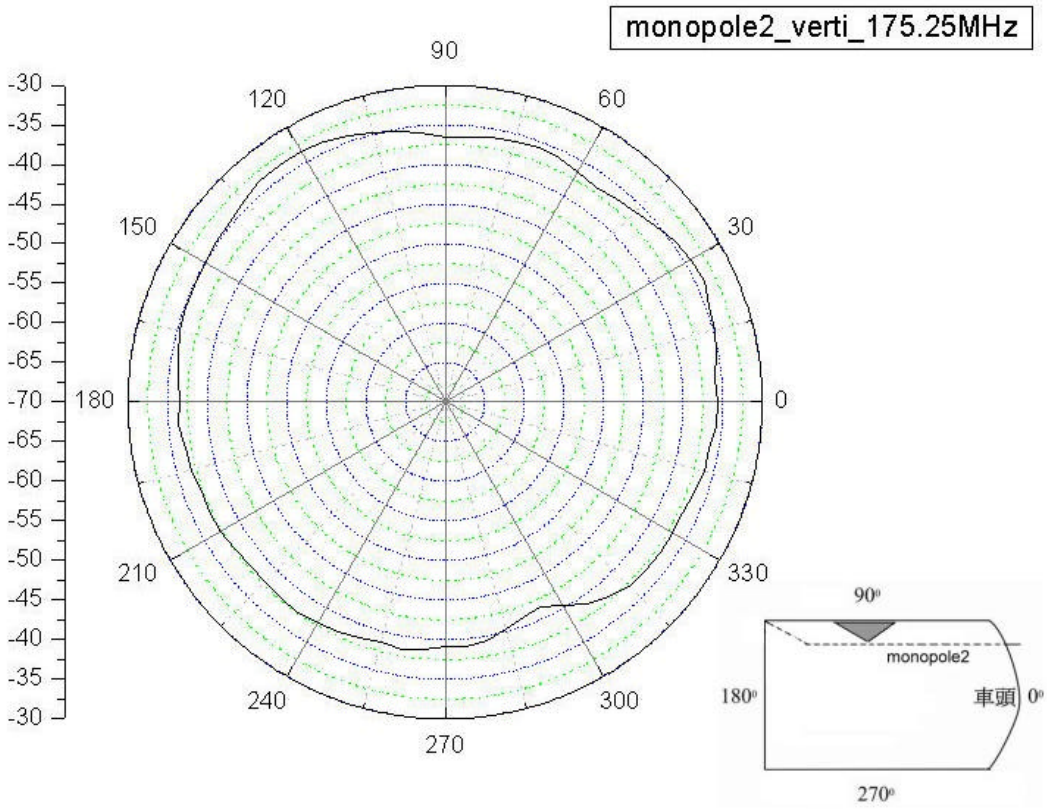


圖 3-48 **『B 量測系統』**Monopole2 **在** 175.25MHz **之量測場型**

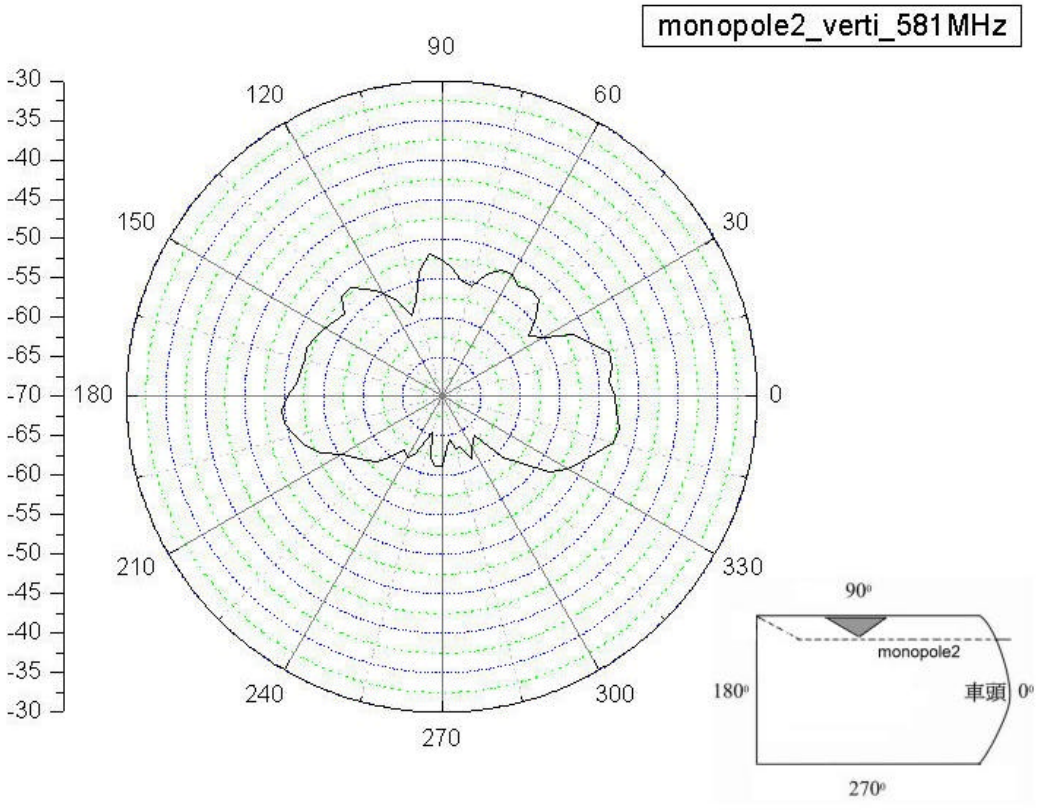


圖 3-49 **『B 量測系統』**Monopole2 **在** 581MHz **之量測場型**

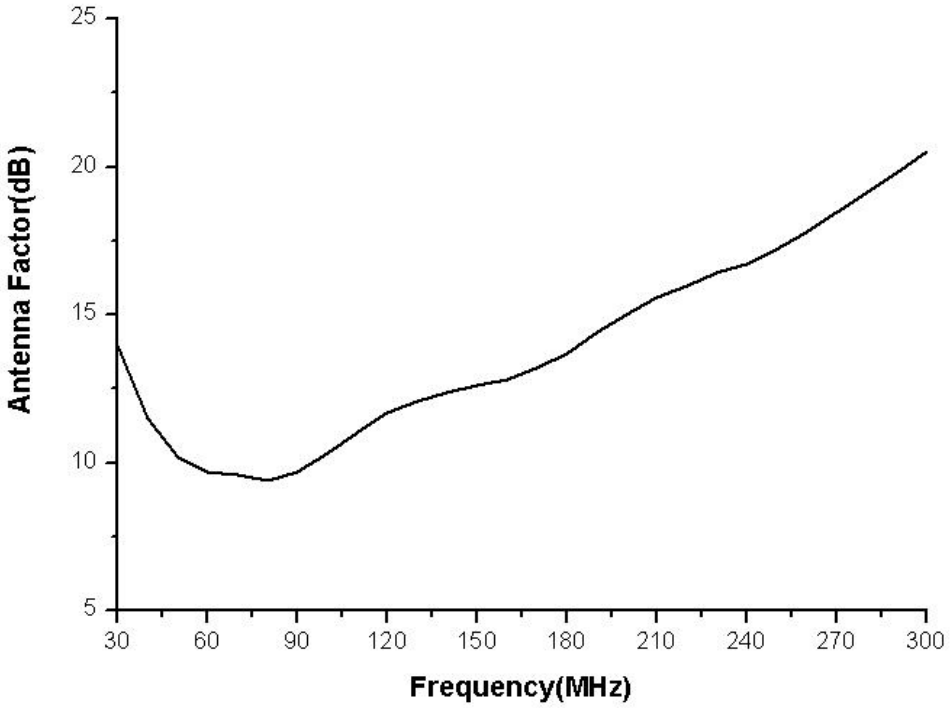


圖3-50 **雙錐天線**(EMCO3110B)**之天線因數**

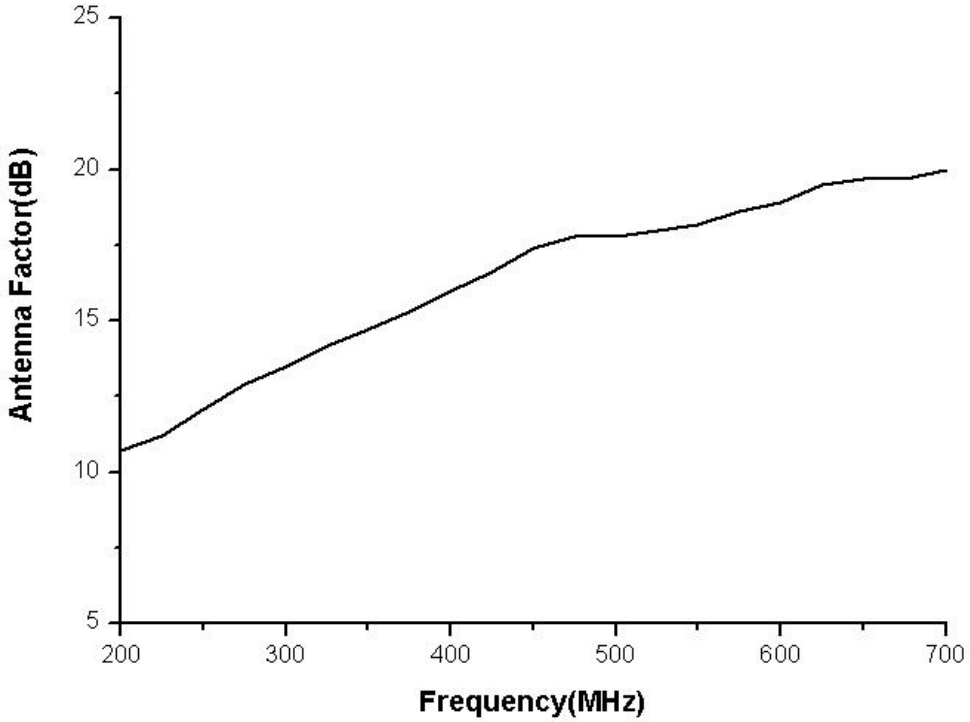


圖3-51 **對數週期天線**(EMCO3147)**之天線因數**

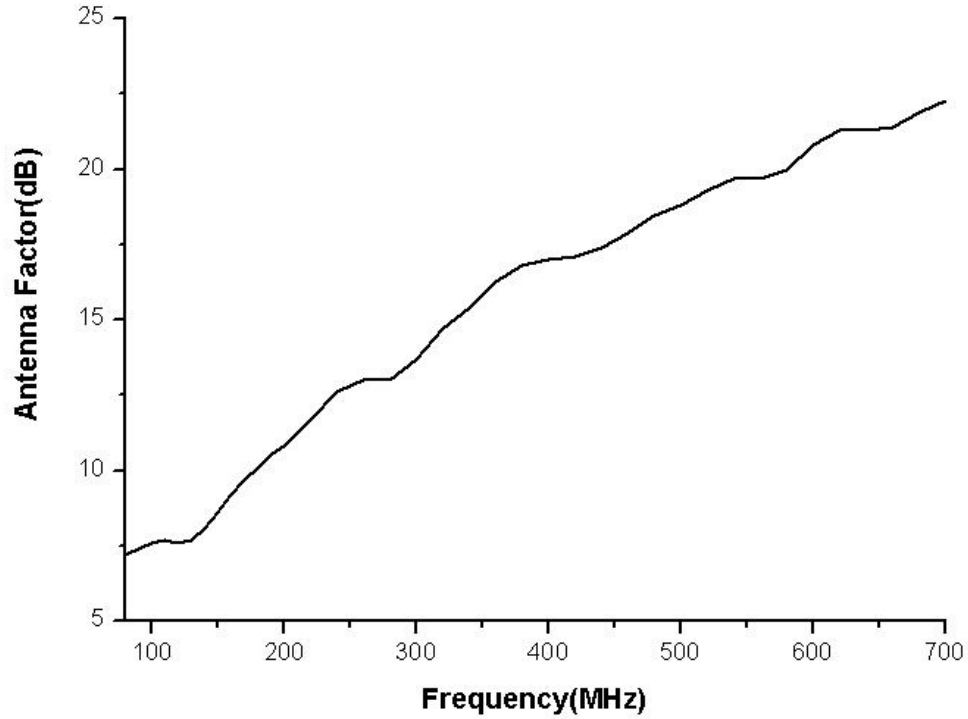


圖 3-52 **雙錐對數週期天線**(EMCO3142)**之天線因數**

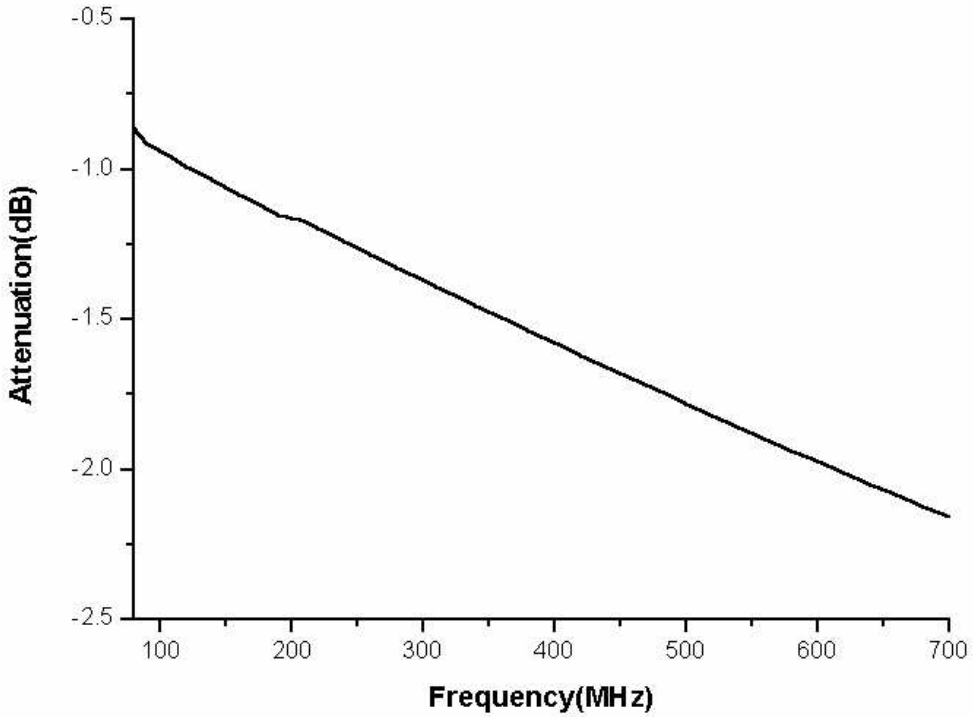


圖 3-53 **十米電纜的電纜損失**

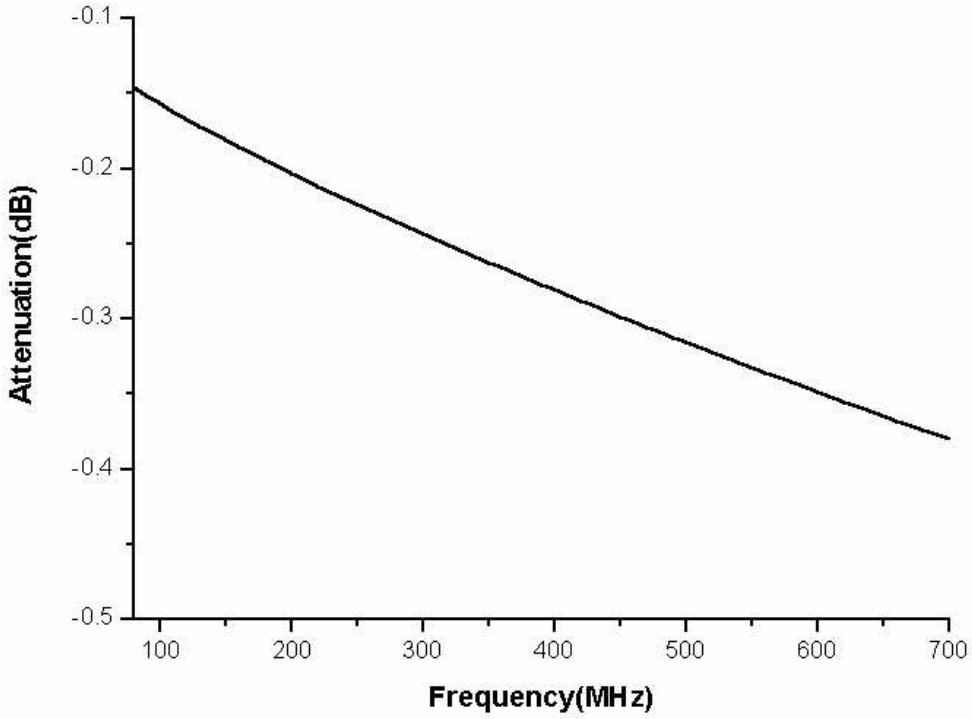


圖 3-54　1.8 米電纜的電纜損失

3.5 量測數據之校正

射頻電磁波量測原始數值為頻譜分析儀之輸入電壓，其中包含了天線因素、連接電纜損失及放大器增益等。此電壓值可轉換成電磁場強，其計算公式如下:

$$E(\text{dBV/m}) = V(\text{dBV}) + AF_E(\text{dB/m}) - K(\text{dB}) \quad (3.8)$$

$$H(\text{dBA/m}) = V(\text{dBV}) + AF_H(\text{dB/m}) - K(\text{dB}) \quad (3.9)$$

其中 E 為電場強度，H 為磁場強度，V 為頻譜分析儀的電壓讀值，AF_E 為電場天線因數，AF_H 為磁場天線因數，而 K 為放大器增益及連接電纜損失之總和。

為了得到電台實際發射的電場強度，乃先將三個極化方向的量測資料代入（3.8）式校正而得三個電場分量測量結果，再以此三分量進行平方和開根號的運算便可得到近似電場強度水平分量及總量大小。

第四章　　互調變量測

4.1 原理

在無線通信系統中為了要將信號傳至遠方，因此需要在發射端加上功率放大器以大功率將信號輸出，並在接收端以低雜訊放大器將經通道衰減之信號放大。

由於放大器是由電晶體等主動元件所組成，因此若輸入之功率太大，元件即會面臨非線性失真的問題。

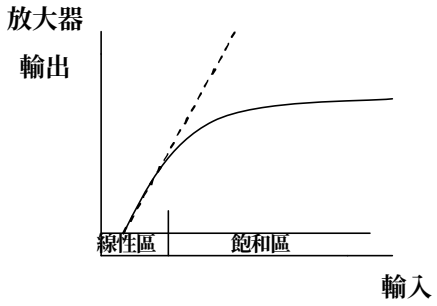


圖 4.1 放大器的特性曲線

如圖 4.1 所示，當放大器的輸入功率大於一數值後，其工作範圍即超出線性區而進入飽和區（即非線性區），因此輸出功率無法隨輸入功率呈線性增加。每一個不同的放大器都可由其輸入及輸出的關係得到一個由多項式寫成的近似曲線：

$$y(t) = a \cdot x(t) + b \cdot x(t)^2 + c \cdot x(t)^3 + \cdots \tag{4.1}$$

一般來說，高於三次項的係數會很小，所以予以忽略。我們假設輸入功率

$$x(t) = \sum_{i=1}^{N} x_i(t) = \sum_{i=1}^{N} A_i \cos(2pf_i t + f_i) \tag{4.2}$$

所以

$$y(t) \approx a \cdot (\sum_{i=1}^{N} x_i(t)) + b \cdot (\sum_{i=1}^{N} x_i(t))^2 + c \cdot (\sum_{i=1}^{N} x_i(t))^3 \tag{4.3}$$

由上式可得知互調變可能產生的頻率為

$$w_i \pm w_j, 2w_i, w_i \pm w_j \pm w_k, 2w_i \pm w_j, 3w_i .....$$

在一般窄頻通訊系統(如 FM **系統)中, 由** intermodulation **所產生的** $2w_i$、$3w_i$、$w_i + w_j$、$w_i + w_j + w_k$、$w_i - w_j - w_k$ **皆落於原載波頻段外，所以我們只需考慮** $2w_i - w_j$、$w_i + w_j - w_k$。**若輸入訊號為：**$V_i(t)=A_1\cos\omega_1 t + A_2\cos\omega_2 t + A_3\cos\omega_3 t$ **經互調變後輸出信號之頻譜如圖** 4.2 **所示：**

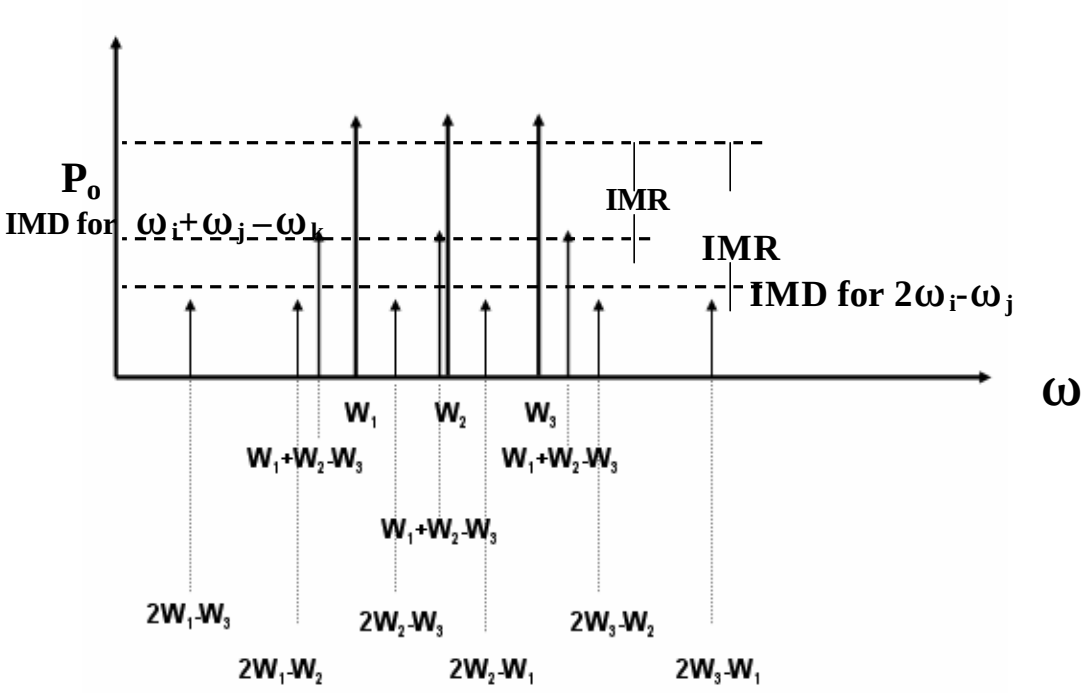
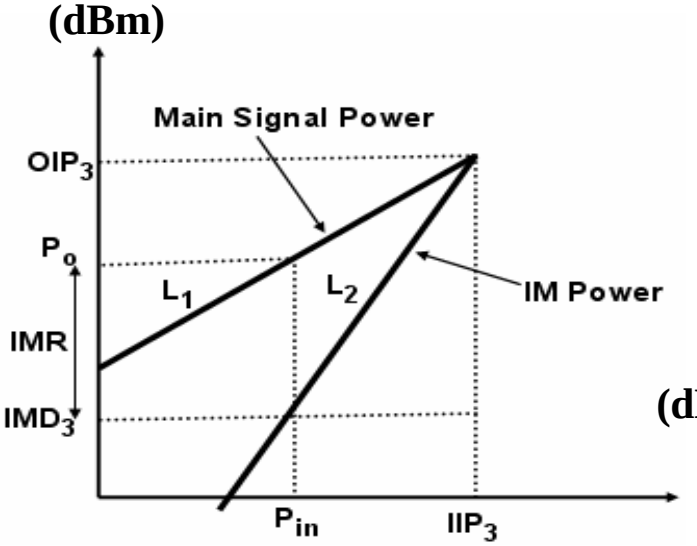


圖 4.2 **互調變的頻譜示意圖**

而為方便說明，我們假設有兩個相等大小的輸入信號，其放大器之輸入功率與輸出功率之特性曲線及關系式如圖 4.3 **所示：**



Po=Pin+G (dBm)

IMD_3 =3Po - 2OIP_3 (dBm)

IMR=2(OIP_3 - Po) (dBc)

(dBm)

圖 4.3 放大器一次項及三次項特性曲線及功率間關係

其中 L_1 為放大器之一次項特性曲線(斜率為 1)，L_2 為三次項之特性曲線(斜率為 3)，G 為放大器增益。由上式可知輸入功率增加 1dB，三次諧波所產生的互調變失真(IMD_3)增加 3dB。

未來共站之後，由於各種不同的廣播系統(FM 廣播、DAB、DTV)皆位於同一共站鐵塔上，此情形好比一多載波之通信系統，所以互調變的產生是我們應注意的問題，尤其是可能落於飛安頻道之互調變頻率，但此時系統之頻率分佈極廣，各種頻率組合皆可能落於飛安頻道，但與上面所述的原理是一樣的。

雖然發射端與接收端都會因功率太大而產生互調變，但其產生的效應卻有所不同。發射端產生的互調變頻率會在空中傳播，對任何地點的同頻率信號直接干擾。而接收機的互調變是因輸入功率超出線性區而產生，所以只有在共站台附近，場強較大的區域才會有互調變干擾。但由於未來共站時各電台信號的功率皆不會超過 3kW，因此其功率應該在發射端放大器的線性區中，所以我們主要考慮接收機之互調變。

為了模擬共站時接收機互調變的情形，我們選擇的地點為陽明山竹子山，此區域內有多家廣播電台及電視台(如下表)，由於各發射台的距離很近，所以產生的互調效應會和共站電台類似。由以下 14 個頻道經過排列後代入式(4.3)，可能產生的互調變頻率將達數千筆之多。

編號	電台名稱	中心頻率(MHz)
1	台視（數位頻道）	581
2	中視（數位頻道）	533
3	華視（數位頻道）	593
4	民視（數位頻道）	557
5	台視	175.25
6	中視	187.25
7	華視	199.25
8	華視（超高頻電視）	597.25
9	民視	77.25
10	警廣交通網台北台	94.3
11	中廣音樂網台北台	96.3
12	台北愛樂	99.7
13	警廣台北台	104.9
14	中廣第二調頻廣播網	105.9

4.2 實驗方法

為了讓互調變的影響顯著，我們在竹子山接近許多 FM 廣播及電視發射站台之處進行量測。並以信號輸入加衰減器來模擬距離發射站台較遠的情形。由於互調變的信號是由二次項、三次項和其他更高次項的影響，所以這些互調變的信號在加了衰減之後，會是正常信號衰減值的二次方、三次方等的衰減，所以我們可以利用在輸入端加衰減器，使互調變的信號較正常信號有更大的衰減特性來討論互調變的情形。

我們量測所使用的儀器為頻譜分析儀(HP-E4445A)，這台儀器內含衰減器可使輸入信號先經衰減後再處理，最後顯示時會再將信號衰減的強度加回。並以一台筆記型電腦來控制 HP-E4445A 並存取量測資料。頻譜分析

儀設定為：start frequency=50MHz、 Stop frequency = 700 MHz、Resolution bandwidth = 100 KHz、Video bandwidth = 100 KHz。接收天線有雙錐寬頻天線及可伸縮雙極天線兩種。

我們將頻譜分析儀分別接上雙錐天線、雙極天線(總長度為 100MHz 半波長，1.5m)及雙極天線(總長度為 200MHz 半波長，0.75m)，天線呈水平及垂直方式放置，並量測以下幾種情形：

1. 頻譜分析儀的內部衰減器設定為 0dB、10dB、20dB、30dB。
2. 先外接一個 10dB 的衰減器，頻譜分析儀的內部衰減器設定為 10dB、20dB、30dB。

圖 4.4 到圖 4.19 是幾種情況的比較圖。

圖上標誌說明：

在各個圖上可以看到如 bico_H，dipole_200_V ，out_10dB，int_10dB 等標號，分述如下：

bico_H：bico 表示是利用雙錐天線當接收天線，_H 表示該天線是以水平方向放置。

dipole_V：dipole 表示是利用雙極天線當接收天線，_V 表示以垂直方向放置。

dipole_200：200 表示此 dipole 天線長度是調成 200MHz 的半波長的長度。

out_10dB：表示在輸入端接一個外部的 10dB 衰減器。

int_10dB：是表示設定頻譜分析儀內部衰減器大小為 10dB，而頻譜分析儀內部衰減器會先將輸入信號先衰減，在輸出端時將信號再增強回來，如設定內部衰減為 10dB，那麼輸入信號會先被衰減 10dB，等頻譜分析儀處理完後將輸出信號再增強 10dB 回來。

Ex：如圖 4.4 中，bico_V 是指利用雙錐天線當做接收天線，以垂直方向放置天線。

int_10、int_20、int_30dB 表示該顏色的線在頻譜分析儀 HP-E4445A 上設

定內部衰減，分別設為 10dB、20dB、30dB。

4.3 結果討論

(1)互調變的影響

由圖 4.4，4.5，4.6，4.7 都可以很明顯的看出，當不加衰減器時，除發射電台所在的頻道外，其它頻段的功率皆有明顯上升，就如同背景雜訊提高一樣。此即互調變所產生的效應。當設定輸入衰減 10dB、20dB 時，除電台頻道外所量測的信號強度皆有明顯的降低，可以確定這些減少的部分都是因為互調變所產生的影響。由於正常信號雖然在輸入頻譜分析儀時被衰減，而頻譜分析儀處理完這些輸入信號之後又會把先前所衰減的值在輸出時加回去，所以正常信號無論設定內部衰減值大小為何，所輸出的信號強度不會有多大的改變，但是互調變的信號是由多次項所產生的影響，如為二次，內部衰減 10dB，那麼在輸入時所產生的衰減為 20dB，在輸出時會加回 10dB，所以在輸出時其值會較沒有設定內部衰減還要減少 20-10=10dB。而在更高次項的影響則會衰減更多，由圖 4.4~4.7，都可以看出，有設定內部衰減值的信號強度都較沒有設定內部衰減值的信號強度少了 10~40dB 不等，也可以看出雙錐天線和長度為 100MHz 的半波長的雙極天線所接收的信號，在 50MHz 到 700MHz 之間都有受到互調變的影響，因為在竹子山上有的發射台多達 14 個，光是二次項和三次項所產生的互調變組合便高達數千種，而當內部衰減增加為 20dB，所留下的應該為正常電台信號，互調變的影響已經很低。

(2)互調變的影響因接收天線不同而異

由圖 4.10，4.11 分別是由雙錐天線、雙極天線(天線長度為 100MHz 的半波長)和雙極天線(天線長度為 200MHz 的半波長)，會發現雙錐天線和雙極天線(天線長度為 100MHz 的半波長)都受到很嚴重的互調變

影響，而雙極天線(天線長度為 200MHz 的半波長)的影響少很多，由於天線也可以看作是一種濾波器，雙錐天線是 broadband，各頻率的信號都會接收，使得當地大功率的電台頻率都會被接收，因此產生很嚴重的互調變，而雙極天線(天線長度 100MHz 的半波長)剛好是在 FM 電台發射頻率附近，也會收到很大功率的信號而產生互調變，反之，由雙極天線(天線長度為 200MHz 的半波長)接收到較弱的 FM 電台頻率功率，接收器則比較不會進入飽合區，互調變的影響較低。我們可再觀察圖 4.18，4.19 外接一個 10dB 衰減器的情形，在 108 至 138MHz 雙極天線(長度 200MHz 半波長)比雙錐天線及雙極天線(長度為 100MHz 半波長)的互調變大約小 40dB。

(3)天線極化方向與互調變關係

由圖 4.12，4.13，4.14 可以看出，不管是雙錐或是雙極天線，垂直方向放置的天線所接收到的強度都比水平方向放置的天線所接收到的來得高，所以我們大約可以推得，FM 所發射出來的極化方向應該是垂直方向的。而從圖 4.4 至 4.5 將輸入設定為衰減 10dB 的結果來看，天線以水平放置比垂直放置所產生的互調變較小。這是因為水平天線所接收的電台功率較小。

(4)HP-E4445A 內部設定衰減與 noise 的影響

圖 4.8，4.9 可以看到，在雙極天線(天線總長度約 200MHz 的半波長)當接收天線時，所受到的互調變影響很少，除了 FM 電台信號以及數位電視信號之外，所接收到的信號可以算是 noise 了，但是隨著內部衰減設定值的增加，反而會使得曲線往上移，這是因為頻譜分析儀產生的 noise 造成的結果。當天線所接收的功率接近頻譜分析儀本身 noise 強度時，若再將輸入功率設定為衰減 10dB(20dB)，則信號功率將小於 noise。因為當頻譜分析儀在顯示結果時會將衰減功率加回，因此反而會把 noise 功率增加 10dB(20dB)。我們可觀察圖 4.15，4.16，

4.17，當外接一個 10dB 衰減器時，頻譜分析儀設定衰減 0、10、20dB 的情形，由此可看出頻譜分析儀本身的 noise 大約是-100dBm。圖 4.15 的結果即是因天線所接收的背景雜訊接近-100dBm，所以顯示出設定衰減 10dB 的背景雜訊-90dBm，衰減 20dB 的背景雜訊為-80dBm。

(5)量測點與發射台間距離和地形對互調變的影響

圖 4.20 是將頻譜分析儀及天線架在車上，量測中廣音樂網台北台（96.3MHz）、警廣台北台(104.9MHz) 、中廣第二調頻廣播網(105.9MHz)及其所產生的互調變頻率 114.5MHz (114.5=104.9+105.9-96.3)，由竹子山民視發射站開始下山接陽金公路沿途的接收功率。由圖 4.20 可發現在出發後互調變的影響開始減弱，約五分鐘後(接陽金公路之處)互調變的影響即不顯著，這是因為受地形影響使在功率放大器輸入端之信號功率已衰減至可使功率放大器在線性區工作。由圖 4.21 觀察互調變較顯著的時段，可發現互調變信號的確受其任一組成頻率的影響，只要其中一個組成頻率信號功率有急劇的變動，互調變信號功率也隨之變動。

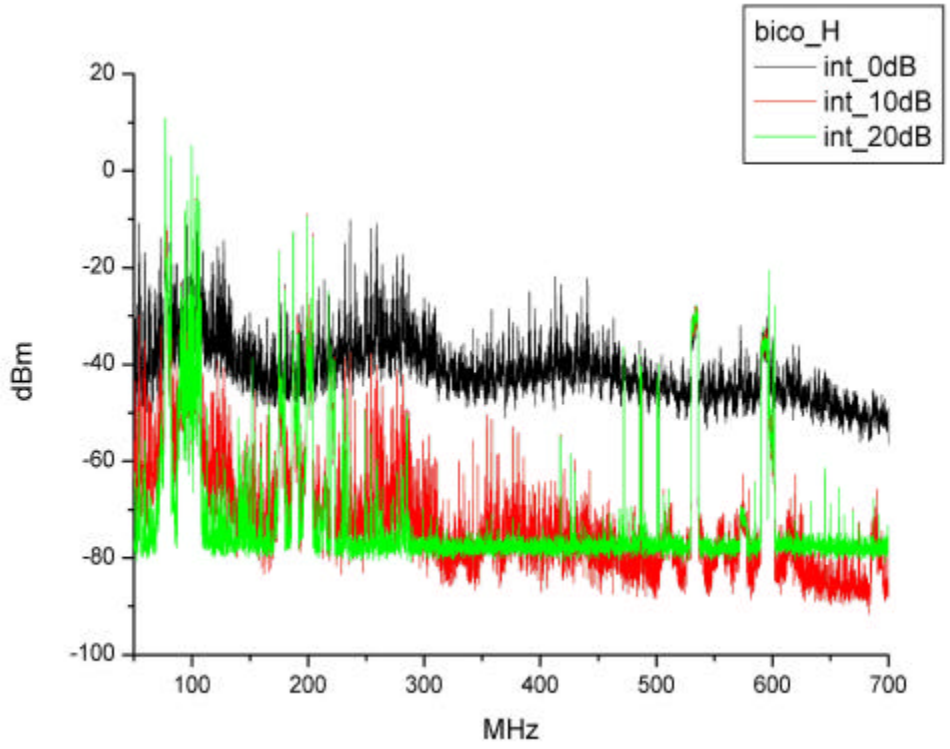

bico_H
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.4

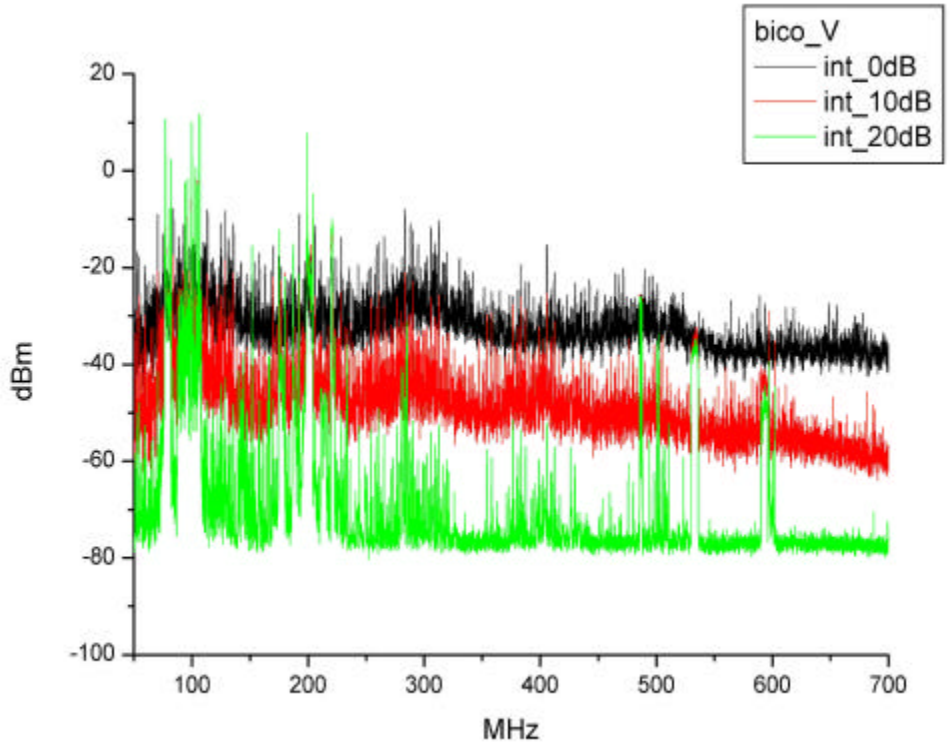

bico_V
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.5

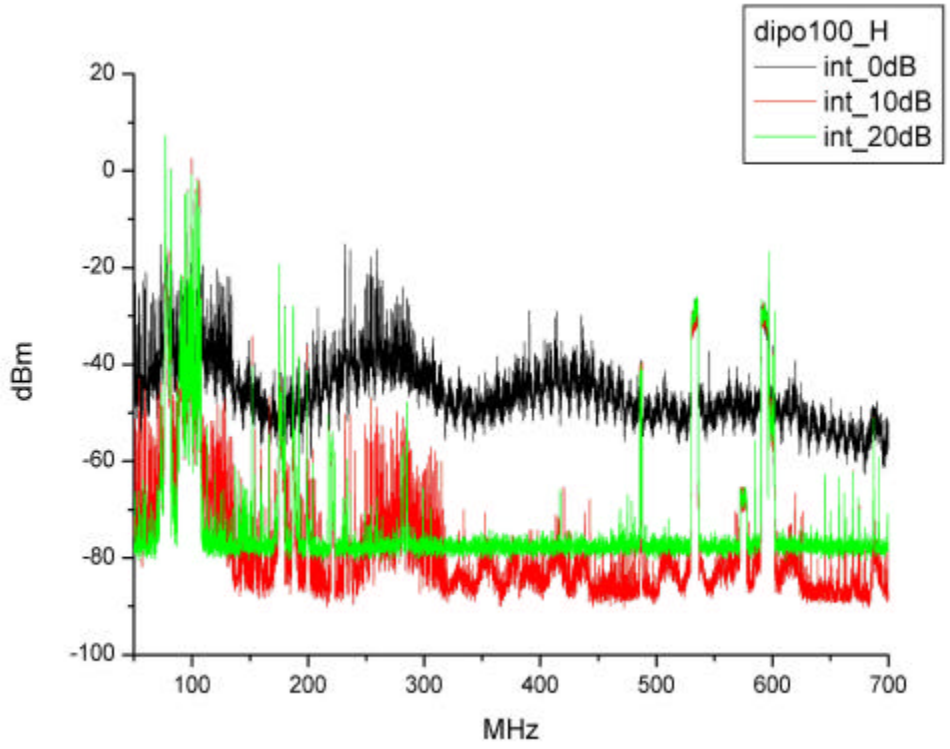

dipo100_H
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.6

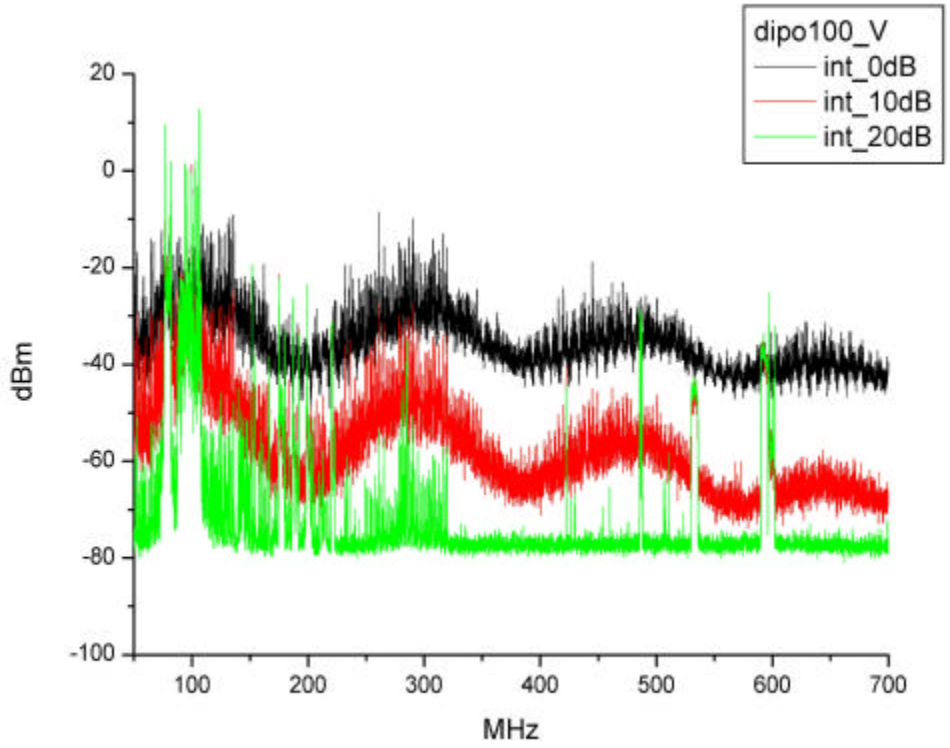

dipo100_V
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.7

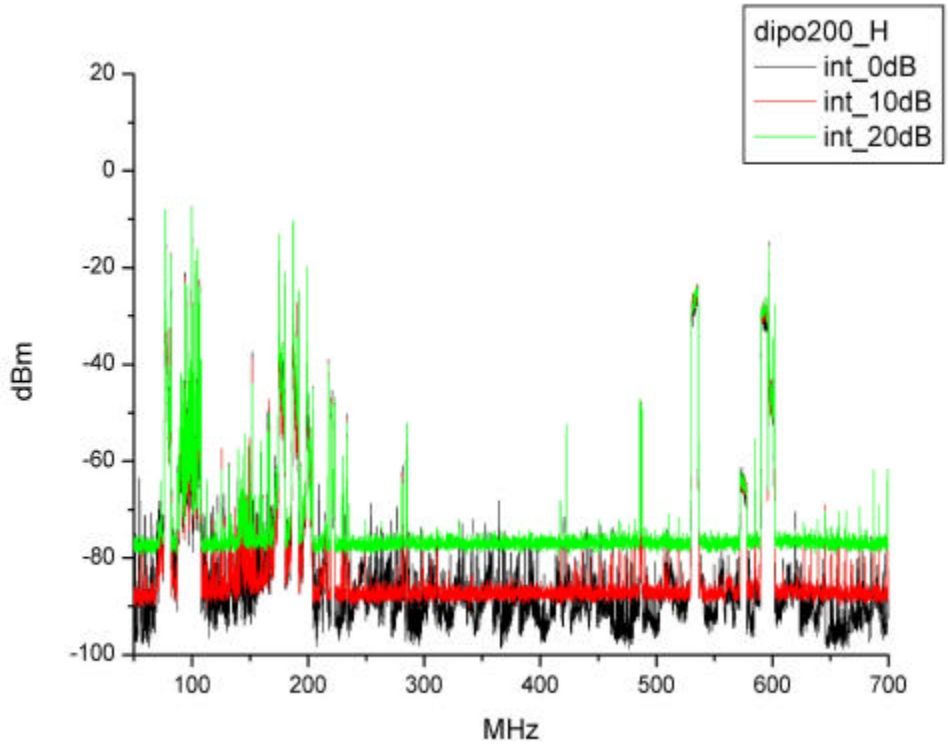

dipo200_H
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.8

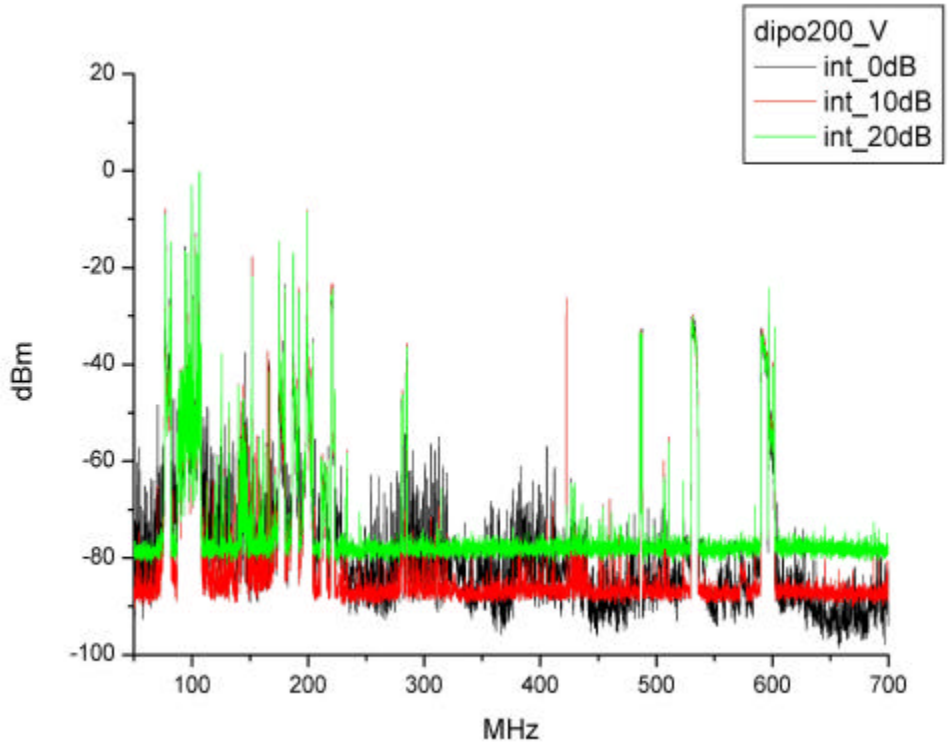

dipo200_V
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.9

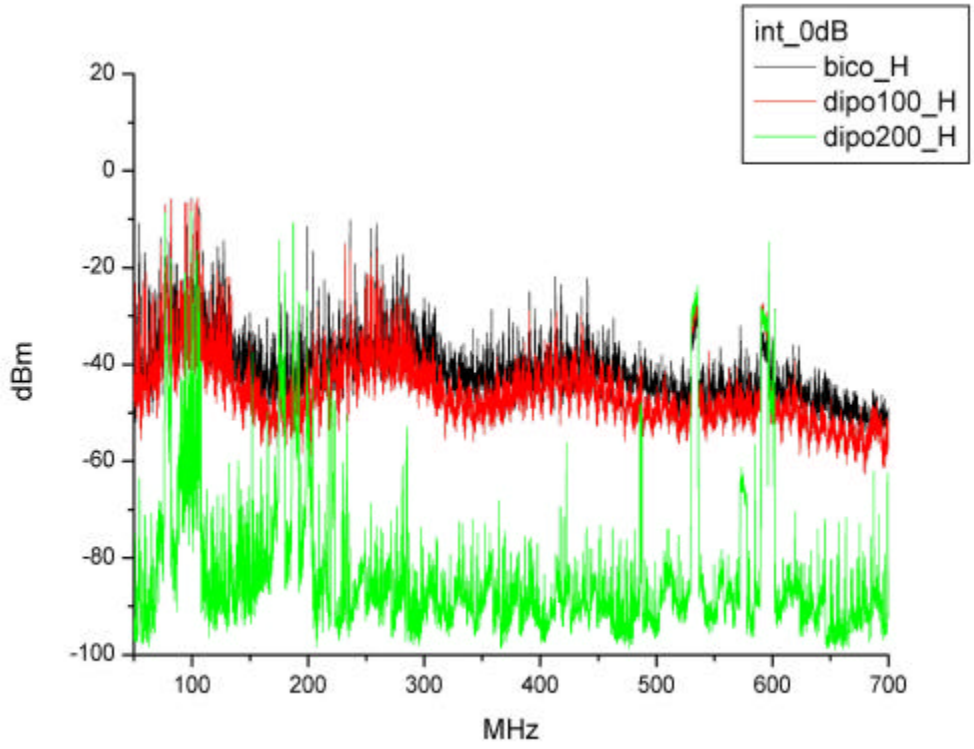

int_0dB
bico_H
dipo100_H
dipo200_H
dBm
MHz
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700

圖 4.10

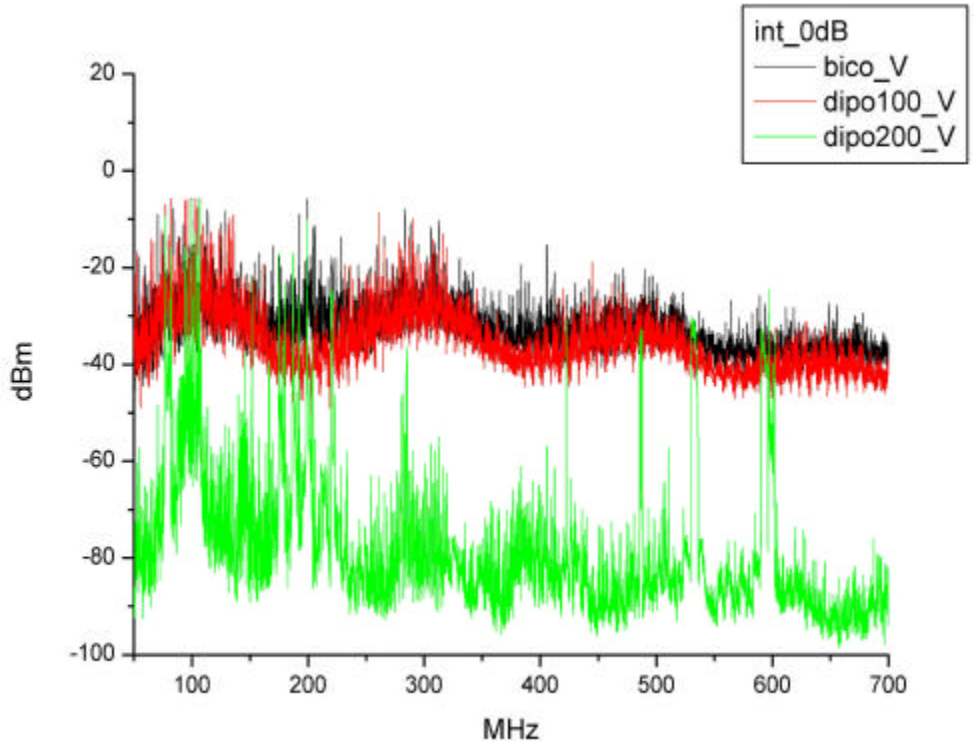

int_0dB
bico_V
dipo100_V
dipo200_V
dBm
MHz
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700

圖 4.11

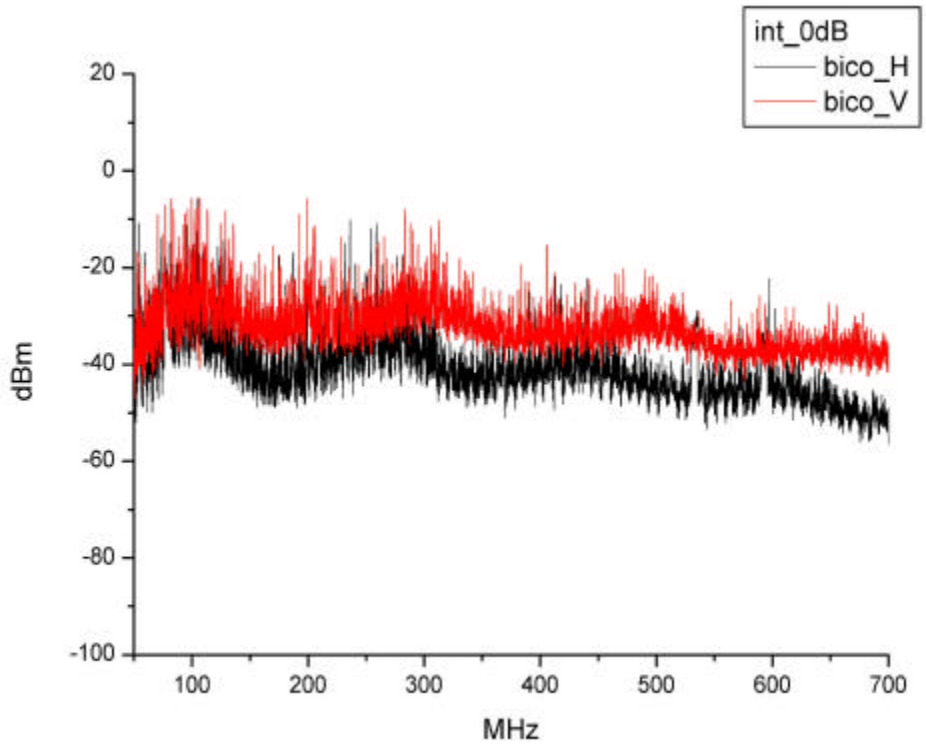

int_0dB
bico_H
bico_V
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
dBm
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.12

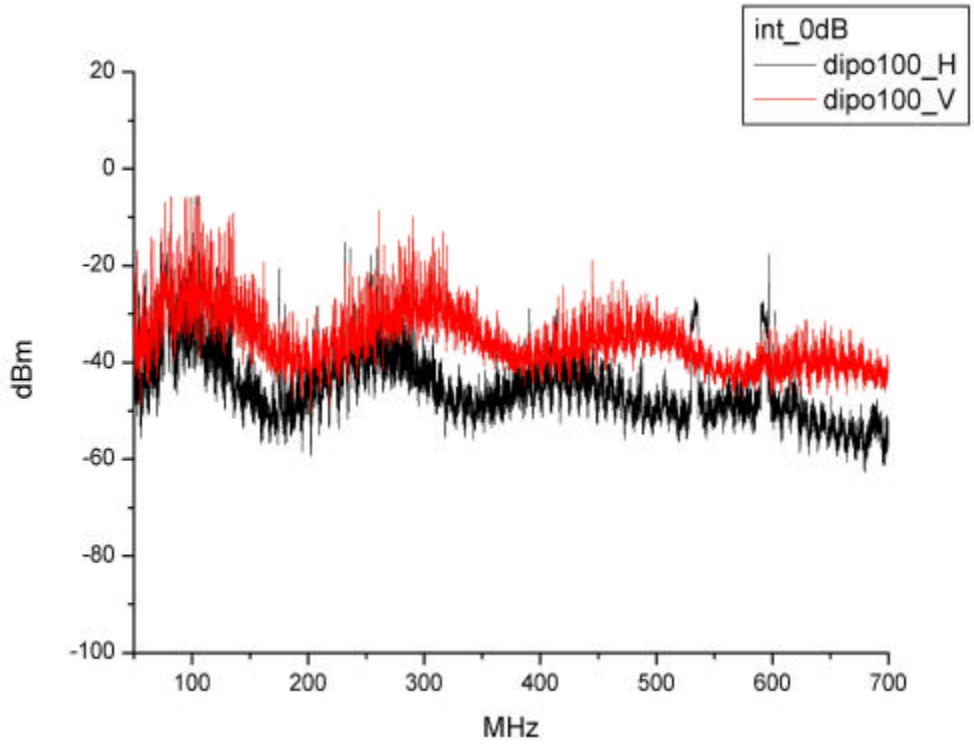

int_0dB
dipo100_H
dipo100_V
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
dBm
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.13

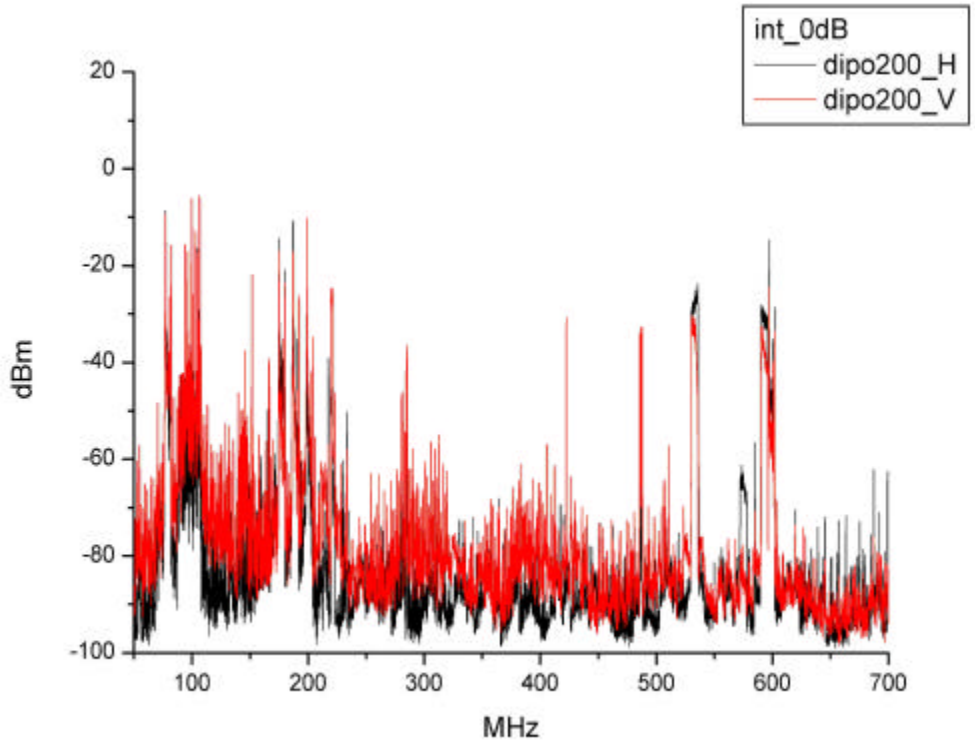

int_0dB
dipo200_H
dipo200_V
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
dBm
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.14

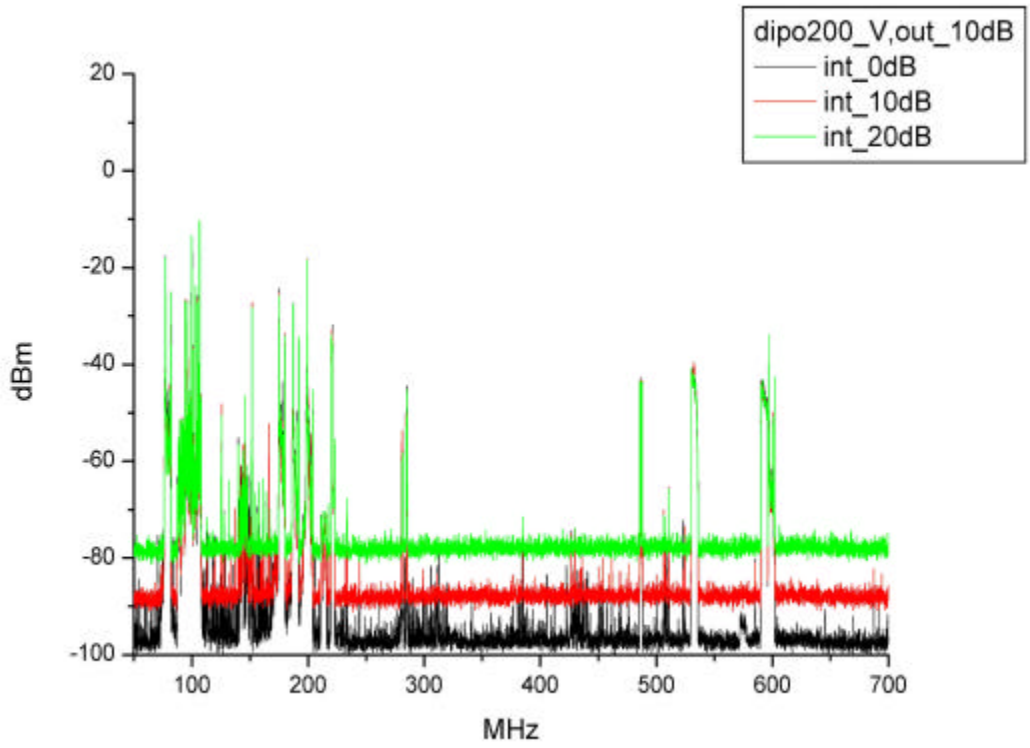

dipo200_V,out_10dB
int_0dB
int_10dB
int_20dB
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
dBm
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.15

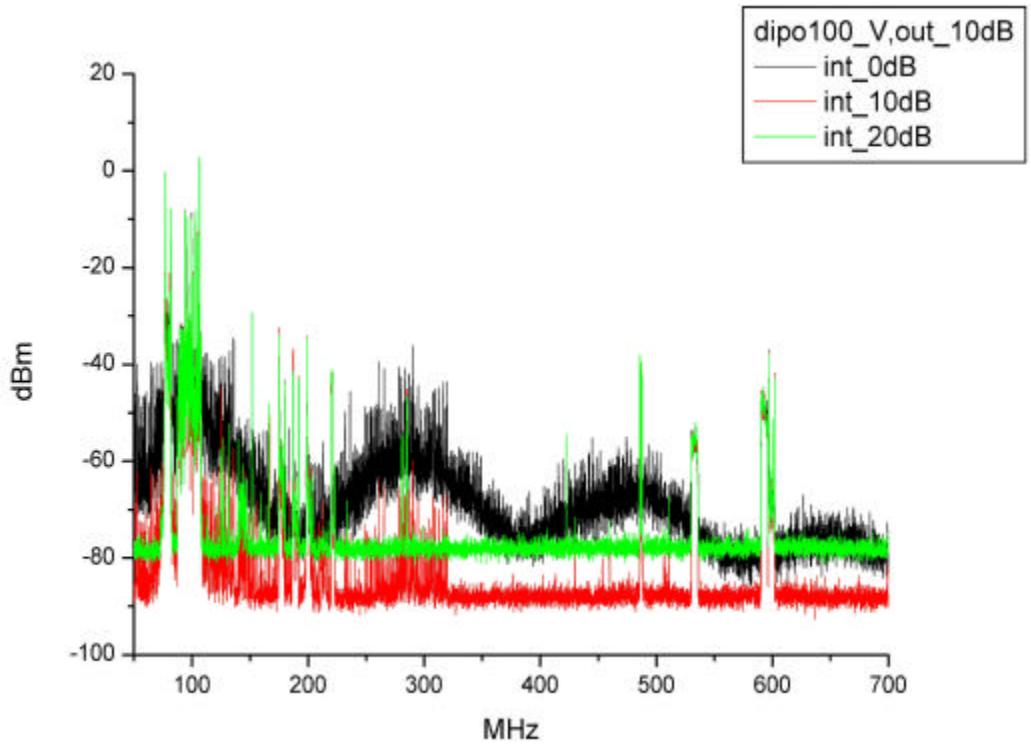

dipo100_V,out_10dB
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.16

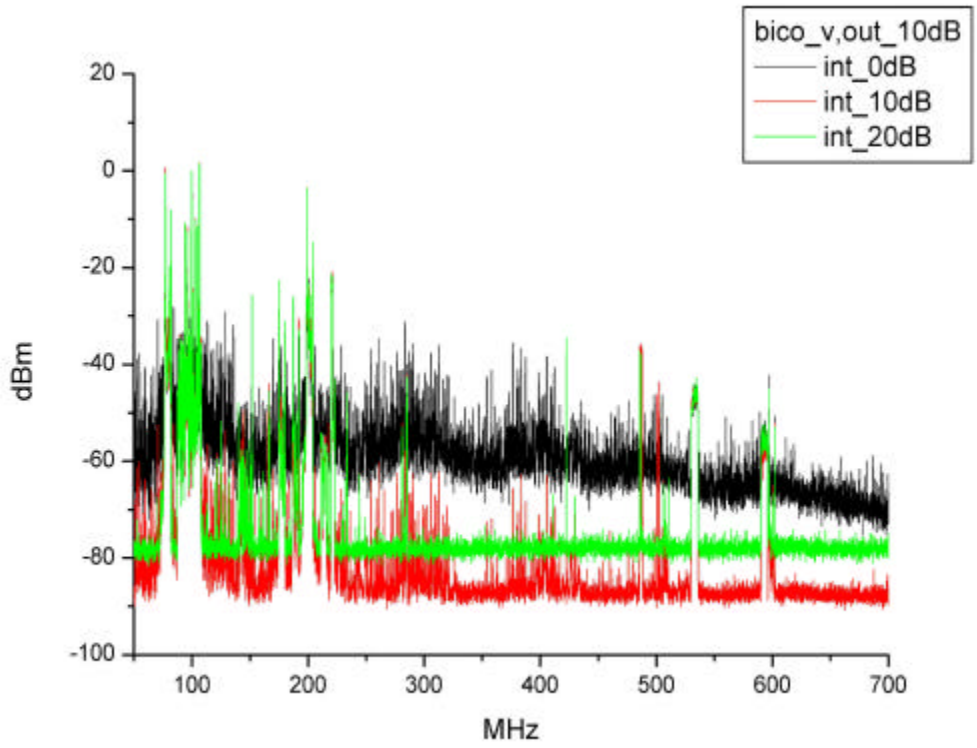

bico_v,out_10dB
int_0dB
int_10dB
int_20dB
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.17

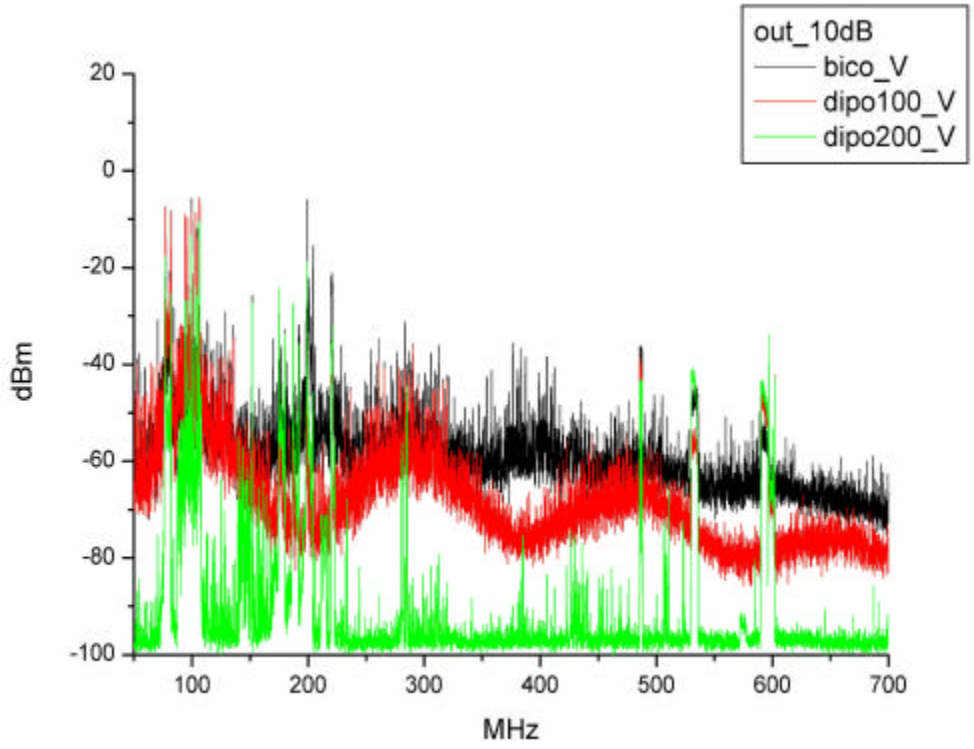

out_10dB
bico_V
dipo100_V
dipo200_V
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
100
200
300
400
500
600
700
MHz

圖 4.18

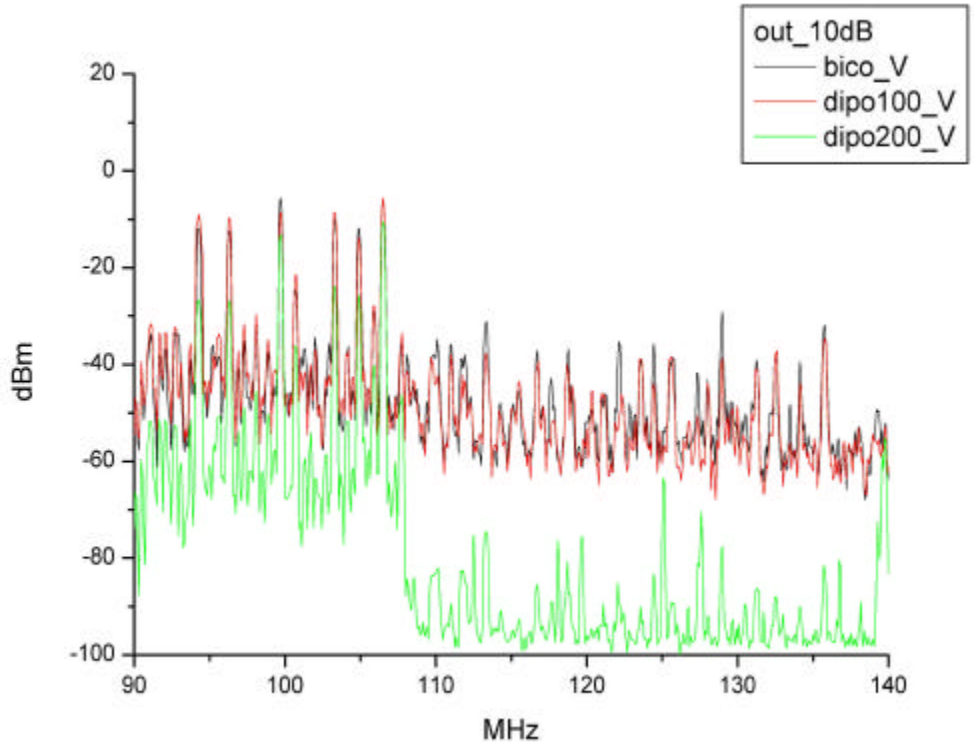

out_10dB
bico_V
dipo100_V
dipo200_V
dBm
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
90
100
110
120
130
140
MHz

圖 4.19

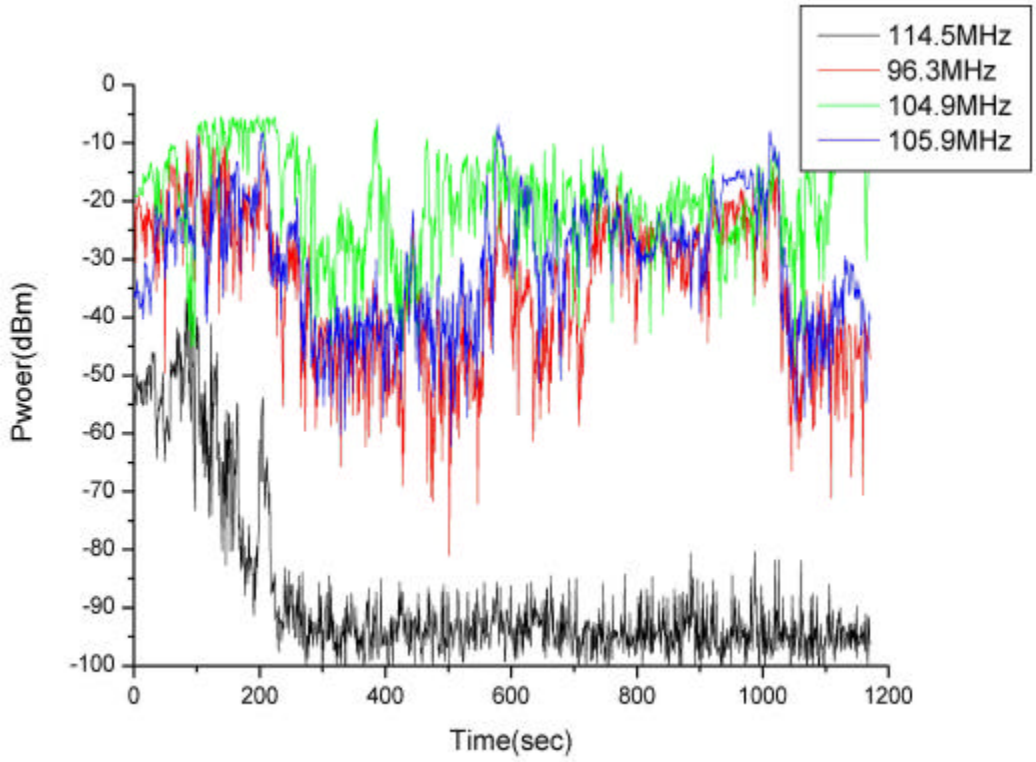

114.5MHz
96.3MHz
104.9MHz
105.9MHz
Pwoer(dBm)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
0
200
400
600
800
1000
1200
Time(sec)

圖 4.20

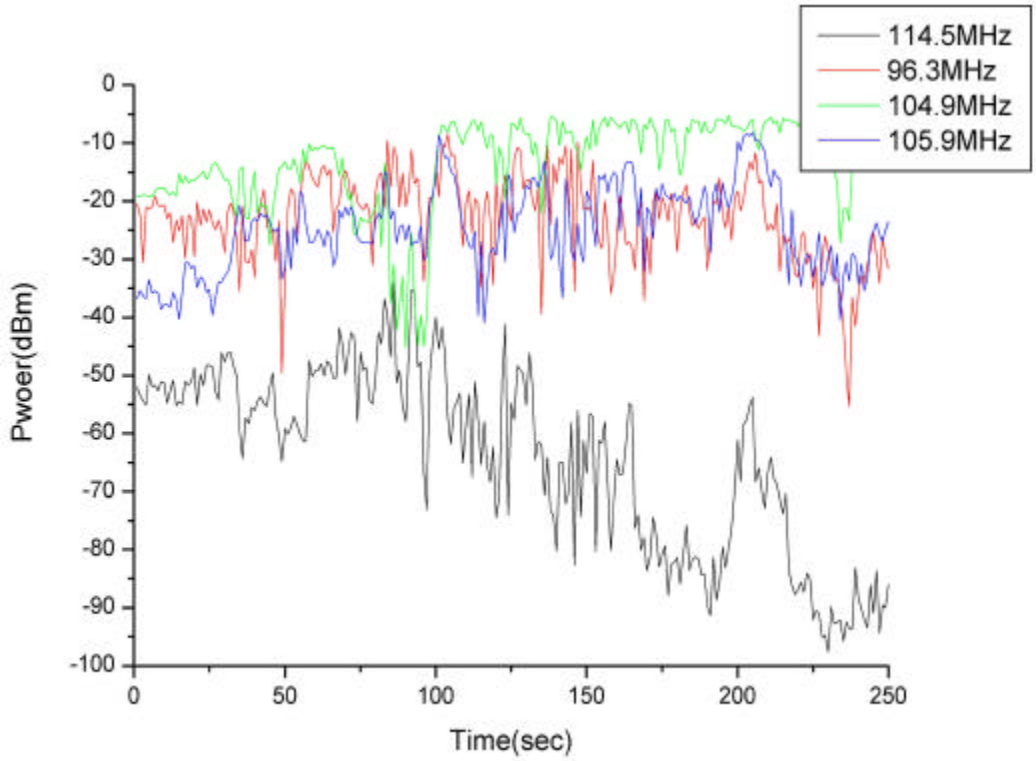

114.5MHz
96.3MHz
104.9MHz
105.9MHz
Pwoer(dBm)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
0
50
100
150
200
250
Time(sec)

圖 4.21

4.4 互調變評估之作業程序

接收機端互調變的發生是由於所接收之信號太大而導致放大器主動元件（如電晶體、放大器……）的工作區由線性進入非線性區，此時接收機之輸出信號 y(t)與輸入信號 x(t)及接收機放大器元件參數(a、b、c) 之間的關係為

$$y(t) = a \cdot x(t) + b \cdot x(t)^2 + c \cdot x(t)^3 + ... \qquad (4.1)$$

產生互調變頻率的原理可參照 4.1 節。此效應如果發生在機場或軍事重地，將會干擾其飛航及國防安全。因此，若能有一套評估互調變的方法，將可幫助系統設計者來評估與預防此效應的發生。在此，我們提供一個評估互調變的作業程序，其步驟如下：

1. 輸入共站台的電台數目 N、電台頻率 f_n 及發射功率 P_t。
2. 輸入共站台天線在接收機方向的天線增益 G_t。
3. 輸入共站台至接收端的空間傳播損失 L，L 為發射天線及接收天線增益皆為$1(0dBi)$時傳播損失，亦即 $P_r = P_t / L$。傳播損失可以經由電波傳播模擬計算而得，或經由場強量測而得。
4. 輸入航用接收機之接收天線及濾波器在共站電台頻率的衰減效應 L_r。
5. 輸入接收機放大器特性的參數 b/a 及 c/a。其中 b/a 的單位為 1/V，c/a 的單位為 $1/V^2$。
6. 計算各電台經過發射天線? 傳播損失(L)? 接收端場強? 接收端天線及濾波器的衰減效應? 放大器前端的輸入電壓? 放大器後端的信號干擾比。放大器後端的信號干擾比計算步驟如下：
   a. 各電台在接收天線端的場強 E 為

   $$E = \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t}{L}} \cdot \sqrt{\frac{4ph}{l^2}}$$

   其中$h = 377\Omega$， l 為波長，單位為公尺

   若以 dB 表示，則

$$E(dBV/m) = P_p(dBw) + G_t(dBi) - L(dB) + 20\log f(MHz) \text{-}12.7(\text{dB})$$

b. **經接收天線及濾波器的衰減效應** L_r **之後, 在放大器端的輸入電壓** x_n **為**

$$x_n = \sqrt{\frac{l^2 R}{4ph\ L_r}} \cdot E$$

其中 R **為接收機的輸入阻抗，一般為** 50O**，若以** dB **表示，** x_n **為**

$$x_n(dBV) = E(dBV/m) + 29.7(dB) - 20\log f(MHz) - L_r(dB)$$

c. **經放大器後，設飛航信號的輸入電壓為** x_d**，經放大器後的輸出信號為** ax_d**，同頻率的互調變信號（假設為第三階的調變）為** $cx^3 = c(\sum x_n)^3$ **，則** $2f_i \pm f_i$ **的係數將為** $\frac{3cx_i^2}{4} \cdot x_j = \frac{3cx_n^3}{4}$ **（假設各電台頻率在接收端都有相同的場強亦即** $x_i = x_j$**）。因此經放大器後的信號干擾比** S/N **為**

$$S/N = \frac{4ax_d}{3cx_n^3}$$

若以 dB **表示，則** S/N(dB)**為**

$$S/N = x_d(dBV) + 20\log(a/c) + 2.6(dB) - 3x_n(dBV)$$

今以五指山共站台為例，假設 FM **電台的功率為** 3KW**，天線增益為** $10\,dBi$ **，直線距離傳播損失為** 90dB**，設電台的頻率為** 100MHz**，航用接收機的天線及濾波器在** FM **電台的衰減效應為** 0dB**。飛安信號的輸入電壓為** $0dBmV(-107dBm)$ **，則接收天線端** FM **信號的場強為** E **為**

$$E = P_p + G_t - L + 20\log f - 12.7$$

$$= 34.7dBw + 10dBi - 90dB + 20\log 100 - 12.7$$

$$= -18\,dBV/m = 102\,dBmV/m$$

放大器前端 FM **信號的輸入電壓為**

$$x_n = E + 29.7 - 20\log f - L_r$$

$$= -18\,dBV/m + 29.7 - 40 - 0$$

$$= -28.3dBV$$

$$= 91.7dBmV$$

假設放大器的參數 c/a=0.1/V^2**，則放大器後端** S/N **為**

$$S/N = x_d + 20\log(a/c) + 2.6(dB) - 3x_n\,(dBV)$$

$$= -120dBV + 20\log 10 + 2.6 - 3\times(-28.3)dBV$$

$$= -12.5dB$$

以上是最壞的情況。如果電波傳播的額外損失 (LOS **以外的損失**)**為** L_1dB**，飛航接收機的天線及濾波器衰減效應為** $L_2 dB$**，則** S/N **可以提高** $3(L_1+L_2)$dB**。例如，若電波傳播額外損失為** 5dB**，接收機對** FM **信號的衰減效應為** 5dB**，信號干擾比則可提升為** 18.5dB**。**

我們亦可以用接收機位置的 FM **電台信號場強來評估飛安干擾的影響。假設飛航接收機之天線及濾波器在** FM **頻段的衰減效應為** 0dB**，飛行信號的輸入電壓為** 0 dBmV**，當場強分別為** 100dBmV/m**，**95dBmV/m**，**85dBmV/m**，**80dBmV/m**時，放大器輸出端** S/N **的比值如下表所示：**

E（dBmV/m）	100	95	90	85	80
S/N（dB）	-8.5	6.5	22.5	37.5	52.5

因此當 FM **信號的場強在** 90dBmV/m **以下, 對飛安的干擾就可以忽略**

第五章　軟體模擬與量測結果之比較

5.1 前 言

首先，感謝交通部電信總局所提供之 CHIRplusBC 這套模擬軟體，使得本計畫在模擬方面能夠順利地進行。此套軟體之特色主要則是結合了電子地圖作系統場強的分析，且其操作介面符合人性化；而它除了可提供 FM 調頻廣播系統在不同傳播模式之場強預估模擬分析外，也可支援 DTV 及 DAB 系統之場強預估分析。因此，本計畫在場強分析方面主要是利用先前所介紹之儀器將台灣每個地區所實際量測到之場強大小，再與此軟體分別在不同之傳播模式中所模擬出場強預估分佈結果做比較。然後再運用一些程式去計算其間的誤差並從中尋找出最適合某種地形之電波傳播模式，進而建立一套配合各個不同地形之電波傳播模式機制並規劃出在不同地區所適用之電波傳播模式，以提供未來在評估系統之整體效能時會更加精確。

5.2 模擬方法

本計畫主要是模擬 FM、DAB 及 DTV 三種系統在各種電波傳播模式下之場強分佈。在此我們先以 FM 調頻廣播系統為例，介紹如何將 DVS5100 這套儀器所量測到之場強大小以及當時全球定位系統(GPS)所定位到之經緯度帶入至 CHIRplusBC 軟體進行模擬，其方法與步驟如下。

首先，進入 CHIRplusBC 模擬軟體後，會出現如圖 5.1 所示的畫面。然後到 File 之功能選單中的 Mode 裡點選 FM 模式；此模式在測試點模擬方面可提供在單一個頻率內作單點測試模擬、區域面積模擬及以檔案型式載入模擬，而我們則是使用最後一個方式將 GPS 所定位到之經緯度以檔案型式載入作批次模擬。因此我們須點選功能選單中之 Database 裡的 Measurement Database 選項，然後再到 File 功能選單中 Import 選項裡的 Import LS-format 將所欲模擬之檔案匯入，其結果如圖 5.2 所示。

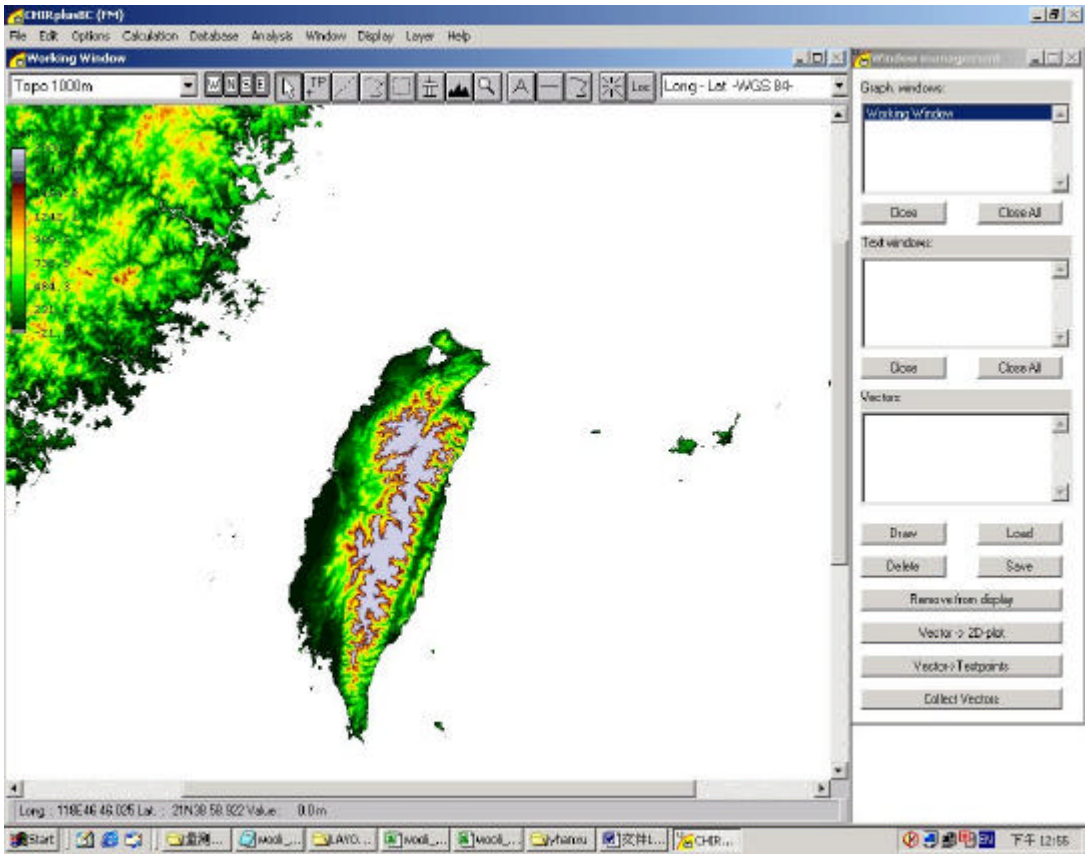
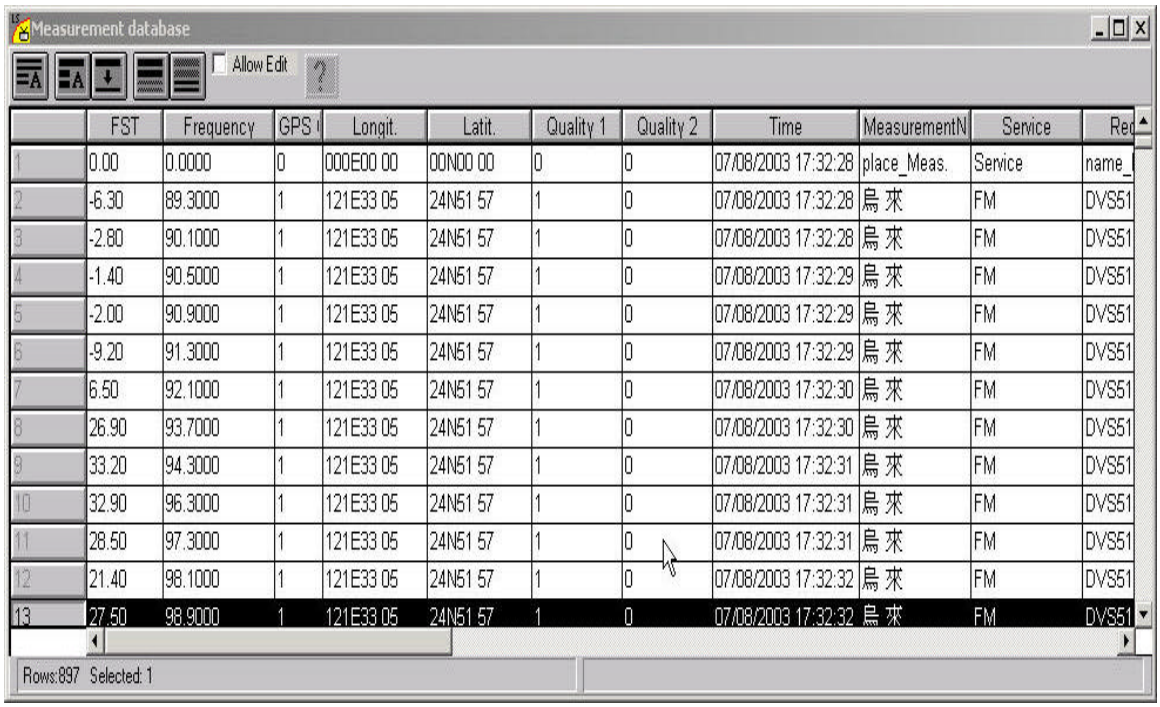


圖 5.1　CHIRpluseBC **軟體之主視窗**



	FST	Frequency	GPS	Longit.	Latit.	Quality 1	Quality 2	Time	MeasurementN	Service	Rec
1	0.00	0.0000	0	000E00 00	00N00 00	0	0	07/08/2003 17:32:28	place_Meas.	Service	name_
2	-6.30	89.3000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:28	烏來	FM	DVS51
3	-2.80	90.1000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:28	烏來	FM	DVS51
4	-1.40	90.5000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:29	烏來	FM	DVS51
5	-2.00	90.9000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:29	烏來	FM	DVS51
6	-9.20	91.3000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:29	烏來	FM	DVS51
7	6.50	92.1000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:30	烏來	FM	DVS51
8	26.90	93.7000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:30	烏來	FM	DVS51
9	33.20	94.3000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:31	烏來	FM	DVS51
10	32.90	96.3000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:31	烏來	FM	DVS51
11	28.50	97.3000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:31	烏來	FM	DVS51
12	21.40	98.1000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:32	烏來	FM	DVS51
13	27.50	98.9000	1	121E33 05	24N51 57	1	0	07/08/2003 17:32:32	烏來	FM	DVS51

圖 5.2　**匯入後之檔案型式**

接下來我們應建立出模擬所需使用到之調頻廣播系統中的大功率發射電台，並設定其參數包括站台位置、頻率、核定功率……等。而剛好

CHIRplusBC 已經內建好全台所有調頻廣播電台的資料庫，故我們只要到 Database 功能選單中的 Information TX-Database 選項資料庫裡將所需使用到的調頻電台全部載入到 Working TX-Database 中，其載入結果如圖 5.3 所示。

而因為此軟體只能做單一頻率的模擬，因此我們須回到圖 5.3 的畫面中利用排序的方法將所量測到之相同頻率的資料排在一起，以便於後來的模擬。接著，我們即可開始依序地對不同頻率的資料進行模擬了。首先，我們先以 94.3 MHz 的資料為例開始模擬，只要將所有

圖 5.3　載入後之調頻電台資料庫

94.3MHz 的測試點圈選起來，但此時須特別注意的一點就是在模擬之前還需到圖 5.3 畫面中之相對頻率的電台按 Ctrl+R 將它設定成參考電台，這樣一來再點選 Measure. Tools 功能選單中的 Compare with Calc 選項後就會出現如圖 5.4 所示之視窗，並在此視窗內設定所欲模擬之

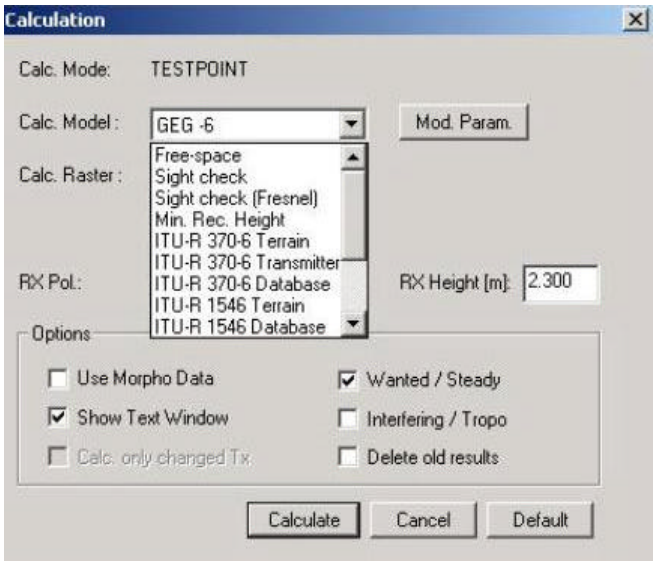


圖 5.4　**計算視窗**

接收天線高度、電波傳播模型(Freespace、ITU-R、Epstein-Peterson、L&S…**等)及其參數後即可模擬出場強大小的分佈。而相同地，其它的資料可依照以上所述之步驟進行模擬與分析。**

5.3 東部地區實際量測與模擬結果分析

本節將實際量測與軟體模擬結果分別依台灣地理行政分區加以進行分析與討論。

5.3.1　花蓮-台東量測與模擬分析

此段量測路徑以花蓮市市區為起點，途中沿台九線進入花東縱谷，至花蓮台東交界處結束，其路徑如圖 5.5**，我們選擇警廣花蓮台**

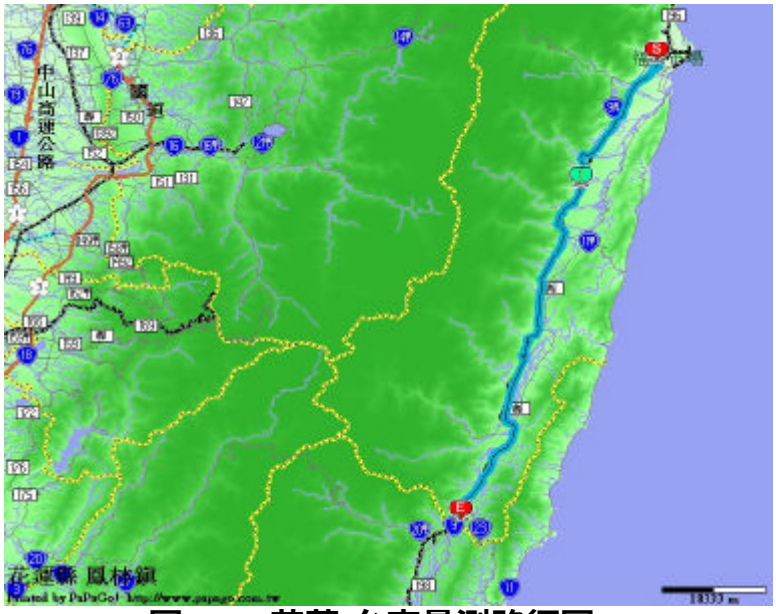


圖 5.5　**花蓮-台東量測路徑圖**

94.3MHz、中廣音樂台 96.3MHz，其量測與軟體模擬結果如圖 5.6、圖 5.7 所示。由於此兩電台，皆位於花蓮市區，因此量測值隨距離增加而變小，但我們發現在途經瑞穗、玉里時，量測值突然增加，推測其原因應為電台互調變的結果，因該處有東台灣廣播電台 107.7MHz、警察廣播電台 106.5MHz、中廣第二調頻廣播網 105.7、中廣玉里廣播電台 103.3MHz、教育廣播電台玉里站 100.3MHz、教育廣播電台玉里站 88.9MHz，因：

88.9 MHz -100.3 MHz +105.7 MHz =94.3 MHz

88.9 MHz -100.3 MHz +107.7 MHz =96.3 MHz

100.3 MHz +103.3 MHz -107.3 MHz =96.3 MHz

可證明該處電台確實對此兩頻道產生互調變的影響。

而為了作更進一步的分析，故將實際量測值與不同電波傳播模式及不同電波傳播模式間之誤差($\overline{X}$)取期望值(m)和標準差(s)來分析其變化，其中m為

$$m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\overline{X_i} \tag{5.1}$$

且

$$s = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{X_i} - m\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{5.2}$$

其值如表 5.1 及表 5.2 所示。

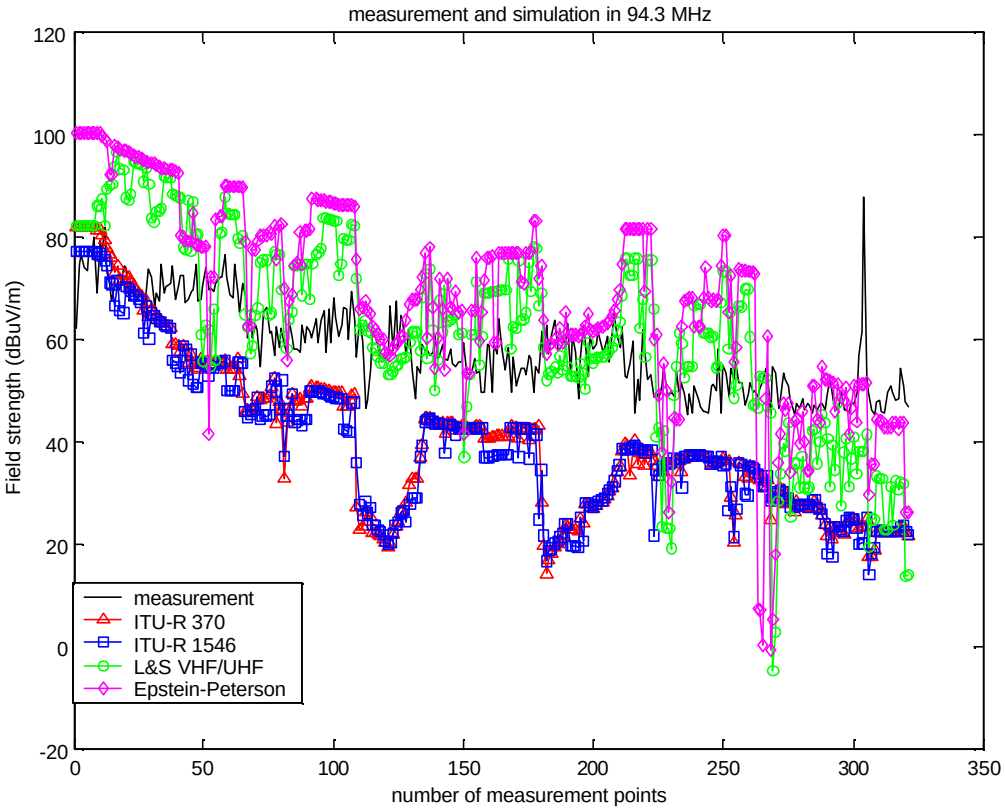


圖 5.6　警廣花蓮台量測與模擬結果

表 5.1　警廣花蓮台量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	17.48253	11.07536
量 測 V.S ITU R-1546	18.41997	10.28877
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-3.60808	14.14115
量 測 V.S Epstein-Peterson	-10.14319	14.60430
ITU R-370 V.S ITU R-1546	0.93744	2.57340
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-21.09060	12.13574
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-27.62572	12.31673
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-22.02804	12.26735
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-28.56316	12.43072
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.53512	8.62012

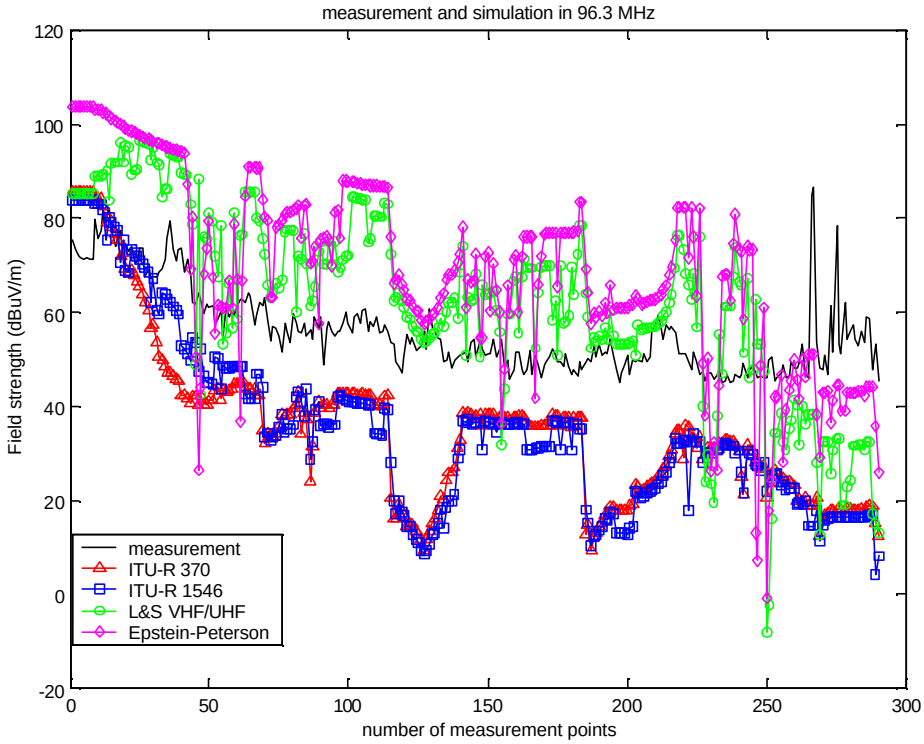


圖 5.7　中廣音樂花蓮台量測與模擬結果

表 5.2　中廣音樂花蓮台量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	19.89735	11.71386
量 測 V.S ITU R-1546	20.13259	12.45023
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-7.45062	15.60883
量 測 V.S Epstein-Peterson	-13.54695	15.74078
ITU R-370 V.S ITU R-1546	0.23524	4.31653
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-27.34797	14.45624
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-33.44430	13.96805
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-27.58321	14.46920
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-33.67954	14.54970
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.09633	9.46552

5.3.2 台東地區量測與模擬分析

此段路徑由池上沿台九線至台東市區轉而往北，沿濱海公路台十一線北上至花蓮台東交界處結束如圖 5.8 所示。我們選擇警廣交通網

圖 5.8 台東地區量測路徑圖

94.3MHz、中廣音樂網 96.3MHz 及教育廣播電台 102.9 MHz 來做量測，其量測與模擬結果如圖 5.9、圖 5.10 及圖 5.11 所示；而誤差之期望值與標準差如表 5.3、表 5.4 及表 5.5 所示。此兩電台皆位於台東市市區，因市區地勢較低，所以在市區之外較難量測到電台信號，故量測值隨進入台東市區時開始增加，從轉向往北離開市區開始減少。

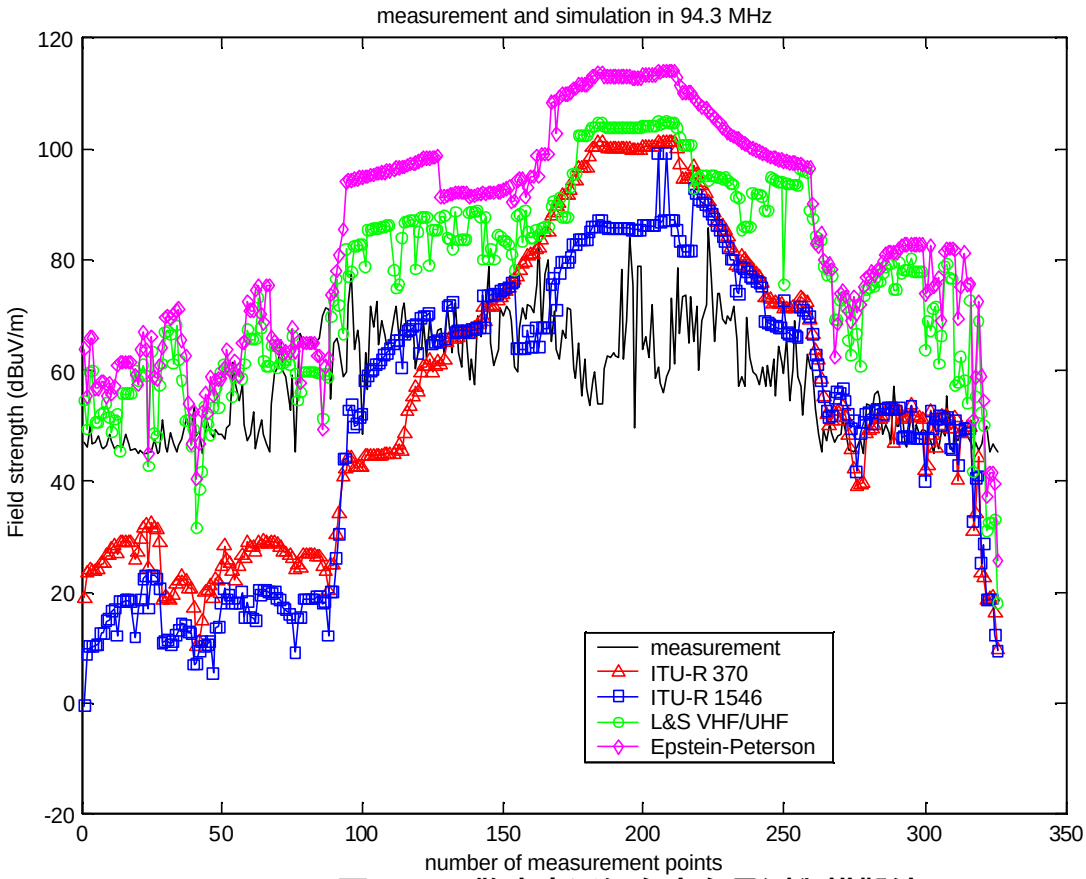


圖 5.9　警廣交通網台東台量測與模擬結果

表 5.3　警廣交通網台東台量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	2.17825	22.52143
量 測 V.S ITU R-1546	6.22297	22.08510
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-18.73185	14.17312
量 測 V.S Epstein-Peterson	-26.37346	15.25221
ITU R-370 V.S ITU R-1546	4.04472	8.40643
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-20.91010	12.86222
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-28.55171	11.44520
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-24.95482	12.73613
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-32.59643	10.84600
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.64161	5.12518

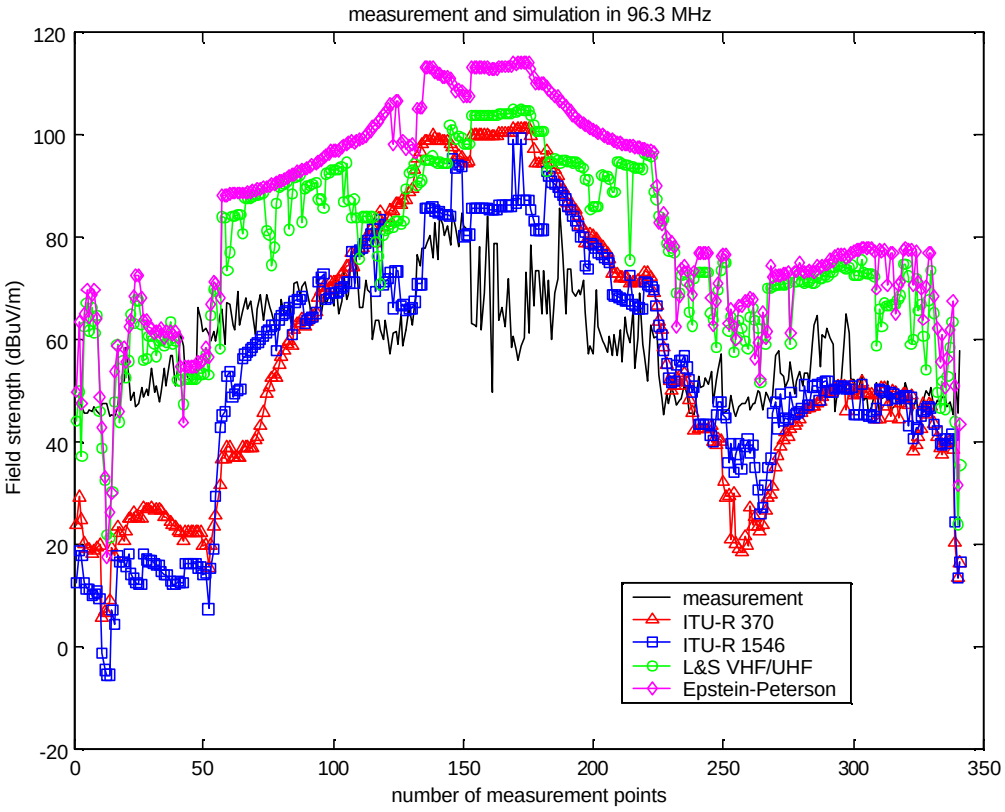


圖 5.10　　**中廣音樂網台東台量測與模擬結果**

表 5.4　**中廣音樂網台東台量測與傳播模式間之比較**

量測與傳播模式間之比較	**期望值**	**標準差**
量　測 V.S　ITU R-370	2.38119	20.79655
量　測 V.S　ITU R-1546	4.70399	18.67431
量　測 V.S　L&S VHF/UHF	-18.23919	12.38349
量　測 V.S　Epstein-Peterson	-24.72275	14.06888
ITU R-370　V.S　ITU R-1546	2.32280	8.99983
ITU R-370　V.S　L&S VHF/UHF	-20.62038	14.35488
ITU R-370　V.S　Epstein-Peterson	-27.10394	10.85811
ITU R-1546　V.S　L&S VHF/UHF	-22.94317	11.57817
ITU R-1546　V.S　Epstein-Peterson	-29.42674	8.95489
L&S VHF/UHF　V.S　Epstein-Peterson	-6.48357	5.93747

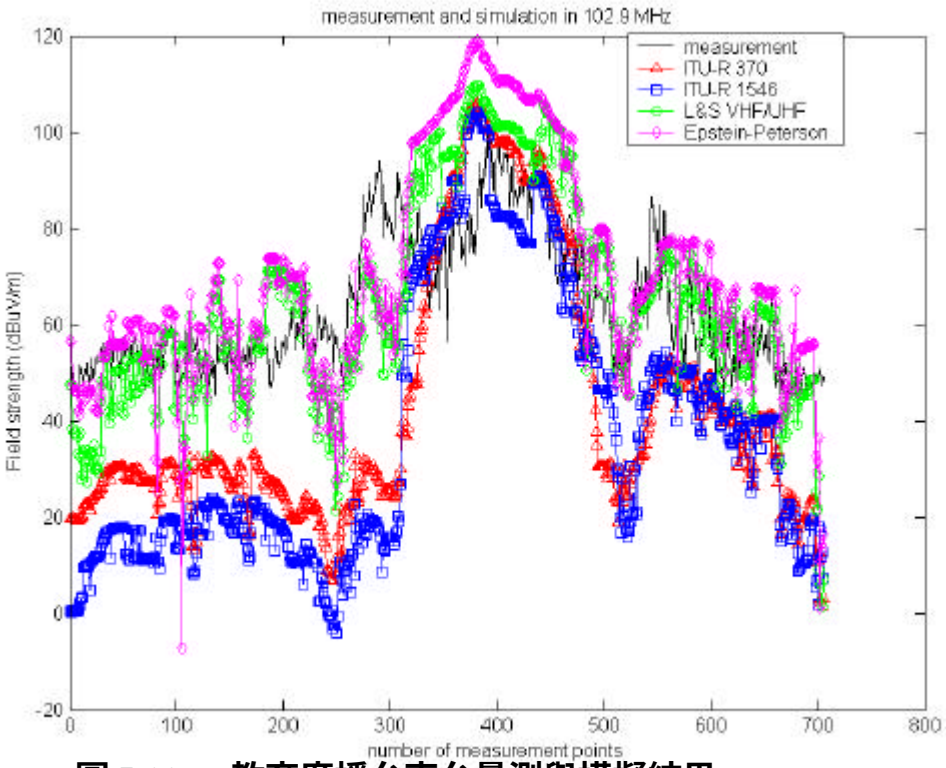


圖 5.11　教育廣播台東台量測與模擬結果

表 5.5　教育廣播台東台量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	20.73071	18.70442
量 測 V.S ITU R-1546	26.07976	20.75722
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-1.00473	14.27985
量 測 V.S Epstein-Peterson	-6.21667	15.15512
ITU R-370 V.S ITU R-1546	5.34905	8.52881
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-21.73543	11.73724
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-26.94738	10.69023
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-27.08448	13.04908
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-32.29643	12.26834
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-5.21194	5.52599

5.3.3 花蓮-宜蘭量測與模擬分析

此路段由花蓮市市區北上，沿蘇花公路至 129 公里處結束如圖 5.12 所示。我們選擇希望之聲 90.5MHZ、中廣調頻廣播網 102.1MHz

圖 5.12 花蓮-宜蘭量測路徑圖

量測，其量測與模擬結果如圖 5.13 及圖 5.14 所示；而誤差之期望值與標準差如表 5.6 及表 5.7 所示。此兩電台皆位於花蓮市市區，我們可由量測結果看出，在經過崇德車站後，有一段路程場強開始高低急劇的變化，從 102.1MHz 頻道可看到其高低差最多可達 30dB，這是因為沿途進出隧道的結果。其後因山脈阻隔導致量測的信號強度微弱。

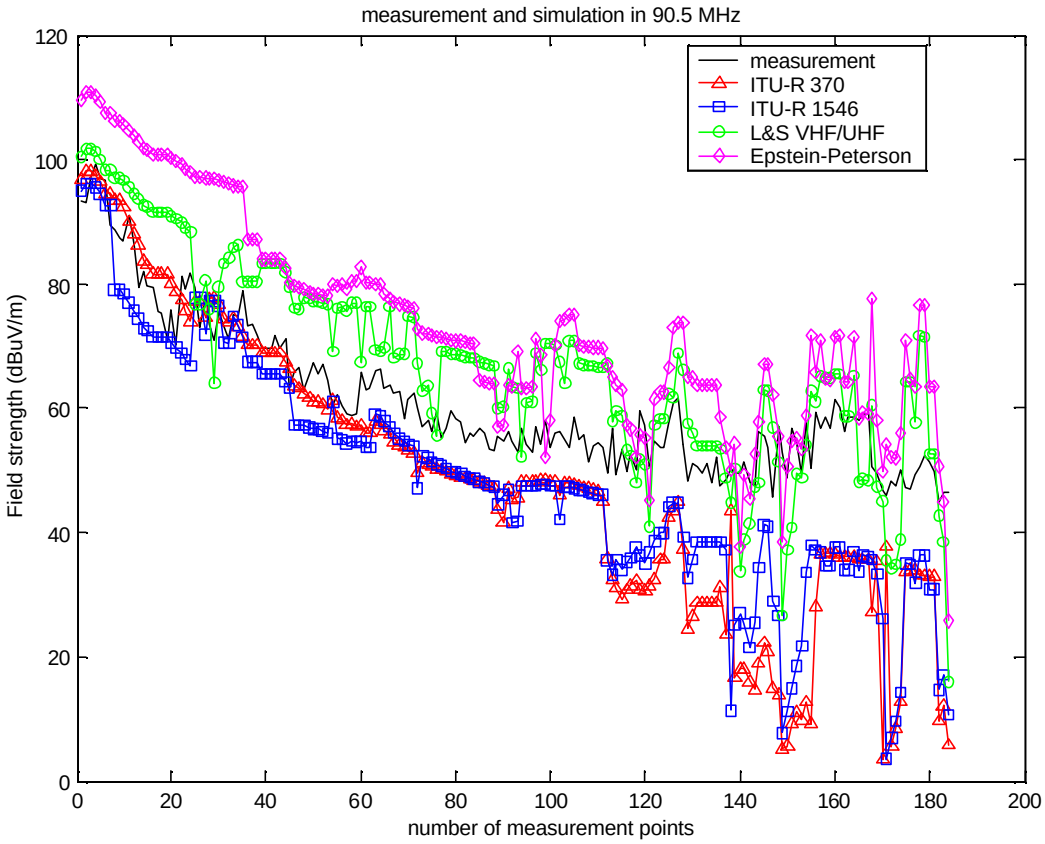


圖 5.13　希望之聲量測與模擬結果

表 5.6　希望之聲量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	12.45124	13.23490
量 測 V.S ITU R-1546	12.25028	9.75512
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-6.08580	8.66832
量 測 V.S Epstein-Peterson	-12.43887	7.97185
ITU R-370 V.S ITU R-1546	-0.20096	7.35187
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-18.53704	10.09799
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-24.89011	9.70235
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-18.33608	7.25248
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-24.68915	7.09683
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.35307	5.70283

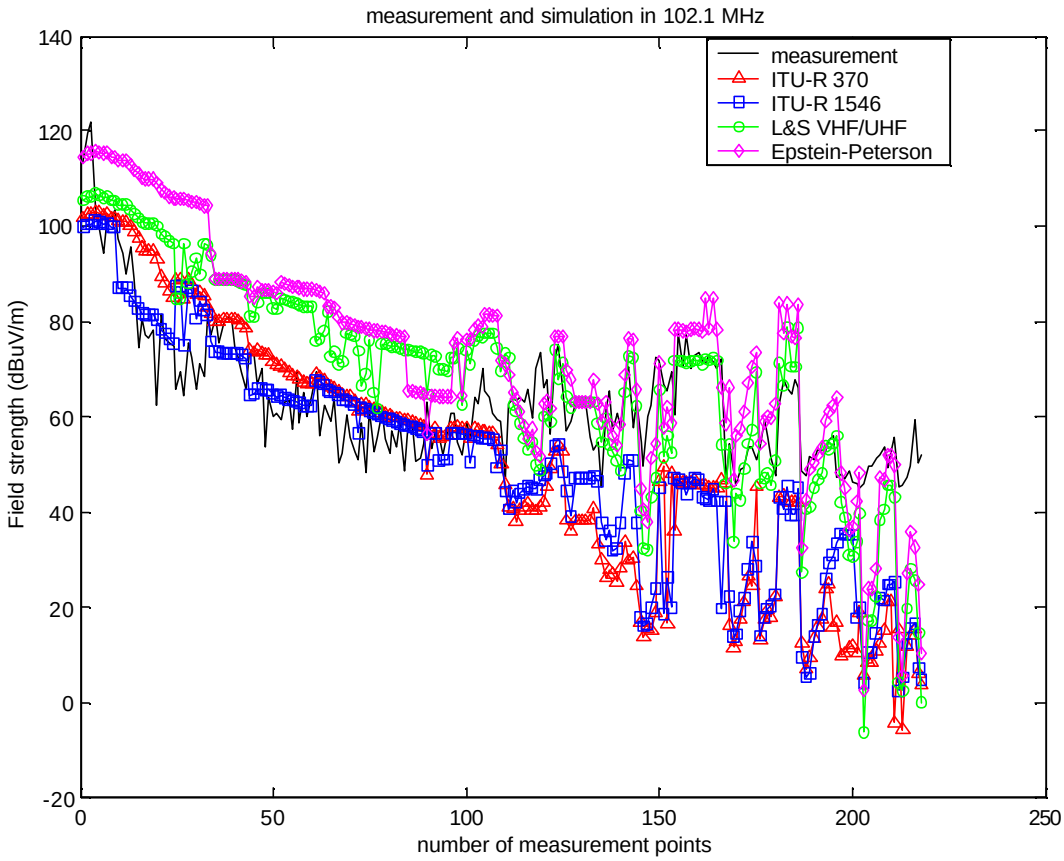


圖 5.14　中廣調頻廣播網量測與模擬結果

表 5.7　中廣調頻廣播網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	12.38049	20.10680
量 測 V.S ITU R-1546	12.95186	16.83415
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-4.39168	16.03867
量 測 V.S Epstein-Peterson	3.05729	15.80119
ITU R-370 V.S ITU R-1546	0.57137	8.06066
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-16.77217	10.57046
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-22.27506	11.11649
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-22.27506	8.66364
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-22.84642	9.57852
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-5.50289	5.14077

5.3.4　宜蘭-貢寮鄉量測與模擬分析

此段路徑從蘇花公路 129 公里處開始北上，出蘇花公路後接台二線，途經蘭陽平原、北部濱海公路至台二線 109 公里處結束如圖 5.15 所示，且選擇中廣音樂網 96.1MHz、東方廣播電台 99.5MHz 量測，其

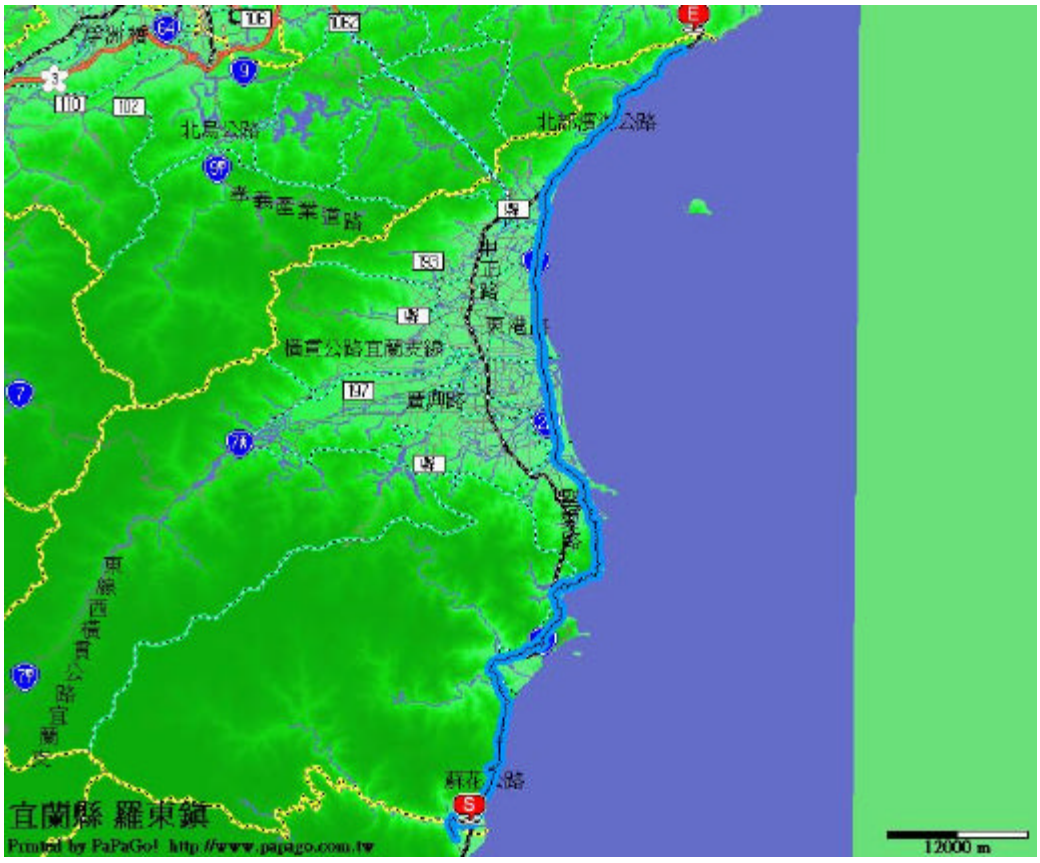


圖 5.15　宜蘭-貢寮鄉量測路徑圖

量測與模擬結果如圖 5.16 及圖 5.17 所示；而誤差之期望值與標準差如表 5.8 及表 5.9 所示。因蘭陽平原地勢平坦且電台的位置於平原中央，故沿台二線行經蘭陽平原其量測曲線呈山峰狀起伏。

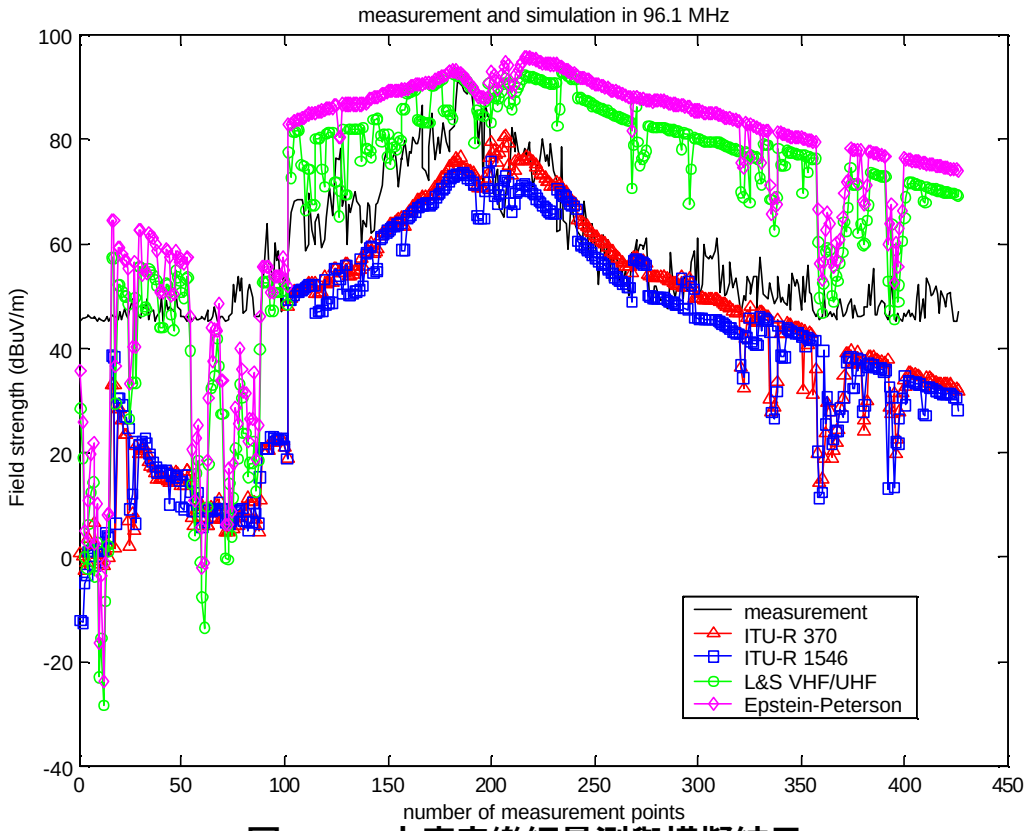


圖 5.16　中廣音樂網量測與模擬結果

表 5.8　中廣音樂網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	14.52163	14.33344
量 測 V.S ITU R-1546	16.26466	13.09383
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-9.35723	19.5022
量 測 V.S Epstein-Peterson	-15.02394	18.97178
ITU R-370 V.S ITU R-1546	1.74303	3.71493
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-23.87886	10.92470
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-29.54557	10.62941
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-25.62189	11.02622
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-31.28860	10.53553
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-5.66671	3.19359

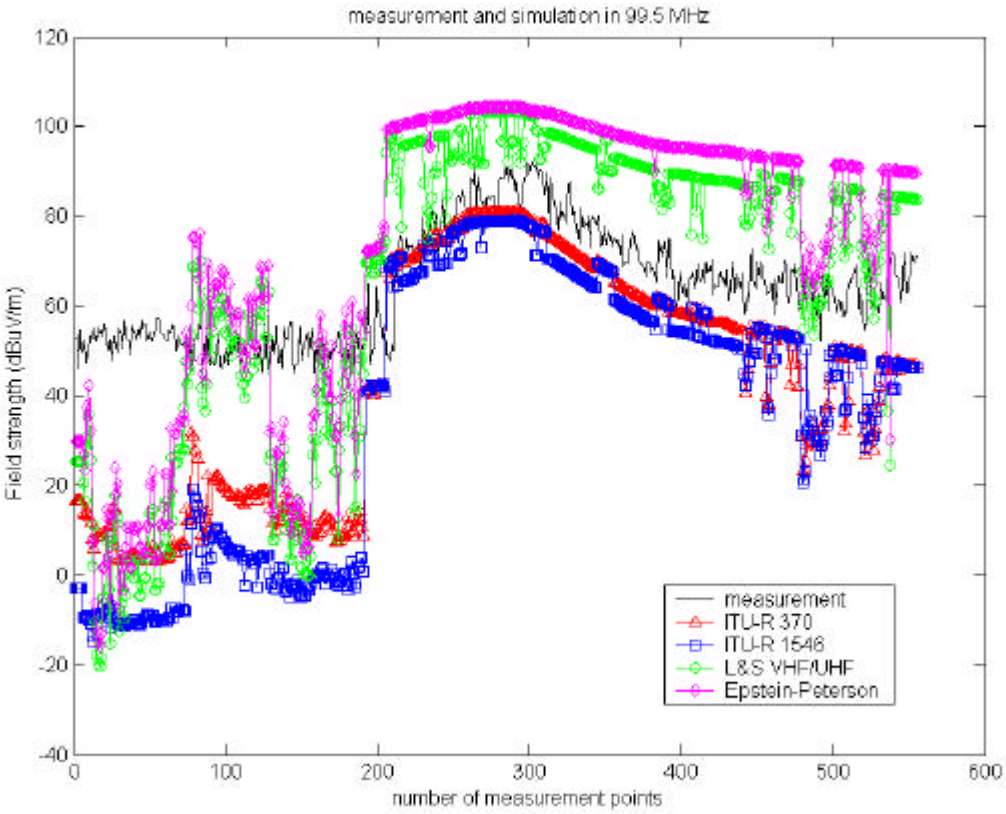


圖 5.17　東方廣播電台量測與模擬結果

表 5.9　東方廣播電台量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	20.68584	16.19263
量 測 V.S ITU R-1546	26.70151	21.13719
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-2.08446	25.12051
量 測 V.S Epstein-Peterson	-8.50079	25.00566
ITU R-370 V.S ITU R-1546	6.01567	6.58793
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-22.77030	14.18502
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-29.18662	13.95898
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-28.78597	12.11642
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-35.20230	11.71425
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.41633	3.25114

5.3.5 福隆-台北量測與模擬分析

此段路徑從台二線 79 公里處開始，沿台二線行經基隆上中山高速公路至建國北路交流道結束如圖 5.18 所示。我們選擇中廣音樂網

圖 5.18 福隆-台北量測路徑圖

96.3MHz 來量測，其量測與模擬結果如圖 5.19 所示；而誤差之期望值與標準差如表 5.10 所示。

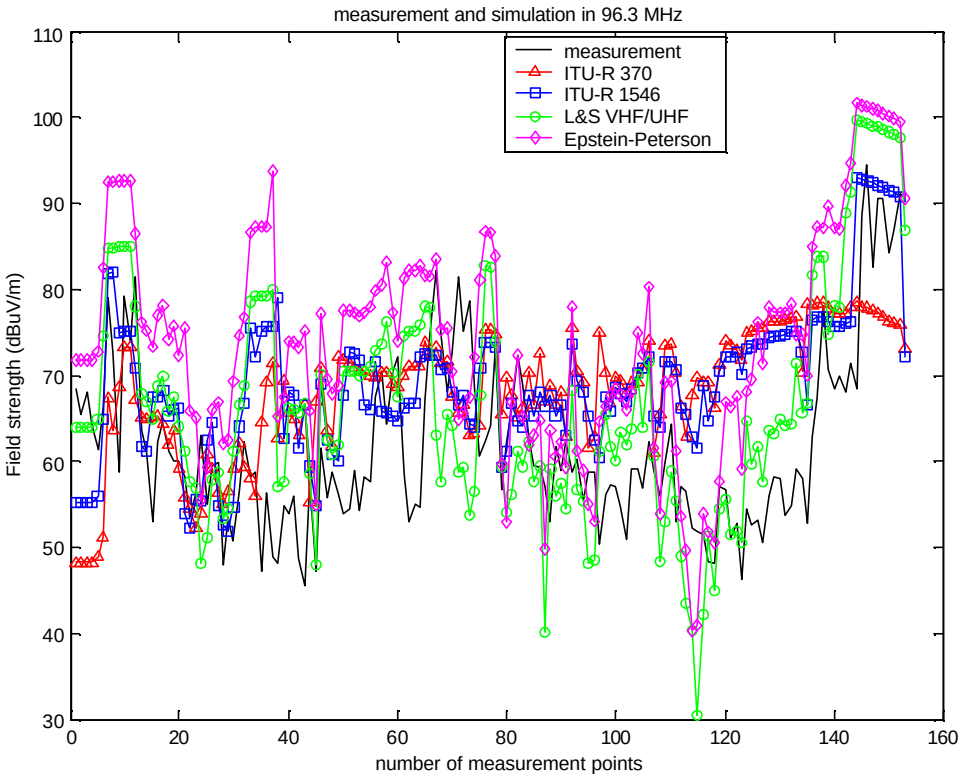


圖 5.19　中廣音樂網量測與模擬結果

表 5.10 中廣音樂網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測 V.S ITU R-370	-6.22704	11.17262
量 測 V.S ITU R-1546	-7.13485	9.34785
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-4.63487	10.60087
量 測 V.S Epstein-Peterson	-11.93839	10.52669
ITU R-370 V.S ITU R-1546	-0.90781	6.03359
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	1.59216	12.42752
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-5.71135	12.01449
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	2.49998	9.45690
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-4.80354	9.15738
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.30351	3.79004

5.4 西部地區廣播電台實際量測與模擬結果分析

本節將實際量測與軟體模擬結果分別依共站點地區加以進行分析與討論。由於 B 量測系統四根天線收到四個場強值，對於四根天場強值我們分別取其最大值與均方根值做處理，取桃園到台北段畫於圖 5.20(較上方的曲線為最大值)，可發現最大值與均方根值相去不遠，故在分析時我們只取最大值與模擬結果比較，最大值與均方根之關係亦於附表中描述。

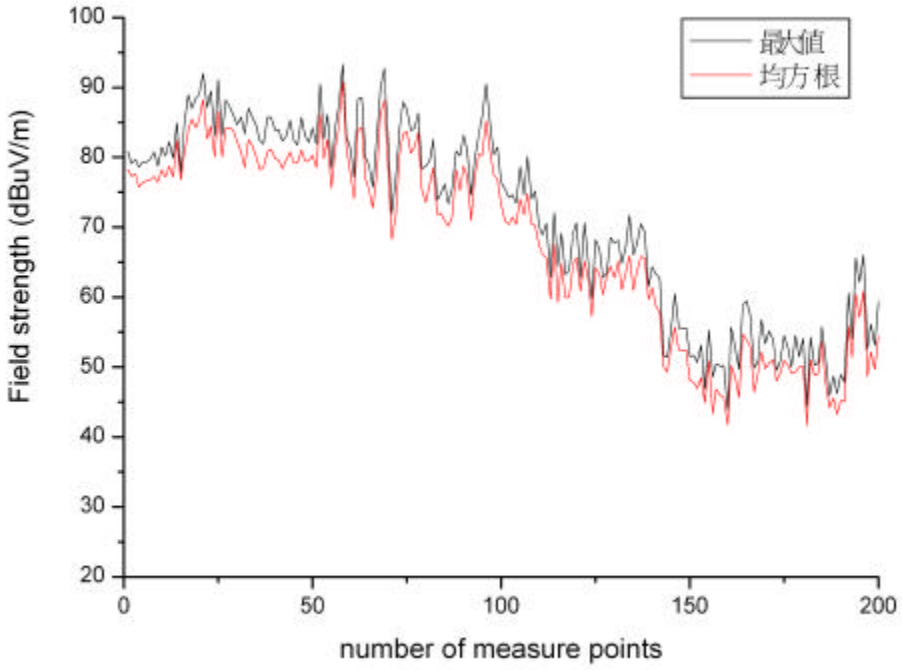


圖 5.20 桃園到台北中廣音樂調頻網量測值

5.4.1 台北—桃園五指山共站台量測與模擬分析

5.4.1.1 發射台參數以及天線場型

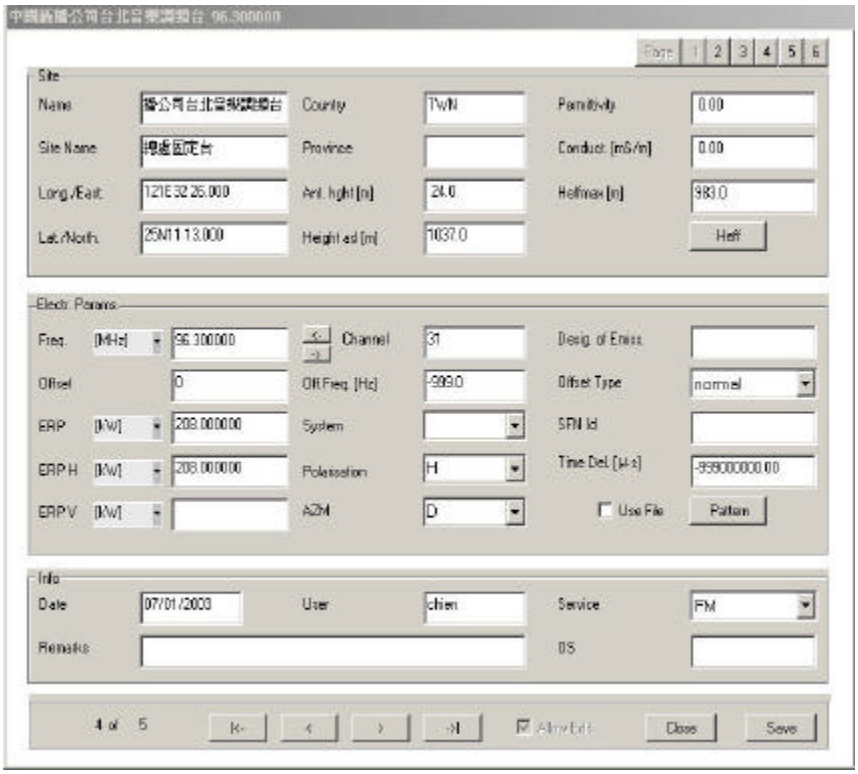


圖 5.21：中廣台北音樂調頻臺發射機參數。

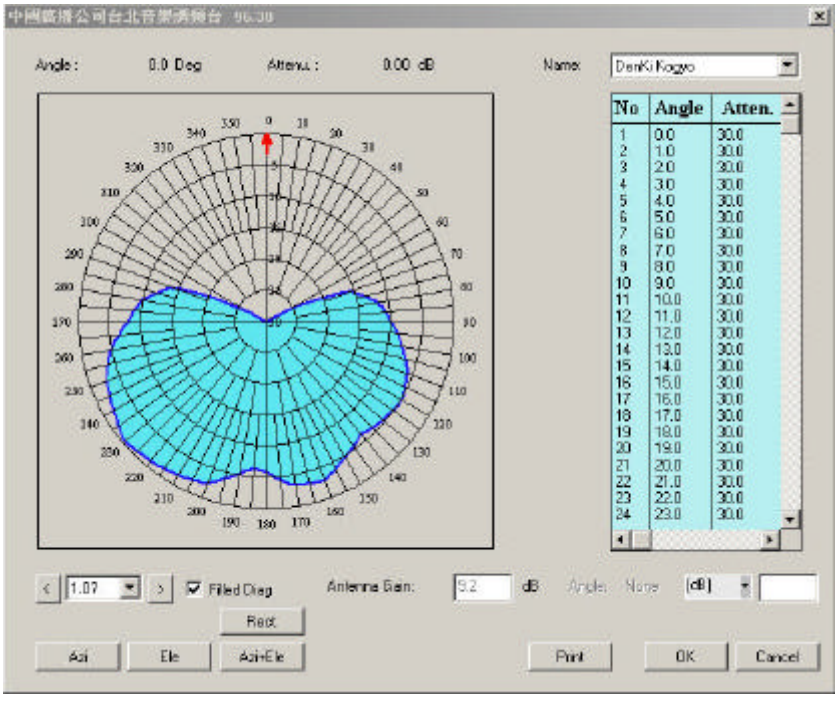


圖 5.22 中廣台北音樂調頻臺發射天線場型。

5.4.1.2 台北南下桃園量測路線與分析

量測路徑為自台北市承德路七段經關渡大橋至八里接濱海公路至新竹新豐鄉。取中廣音樂調頻臺(96.3MHz，位於台北市竹子山上)

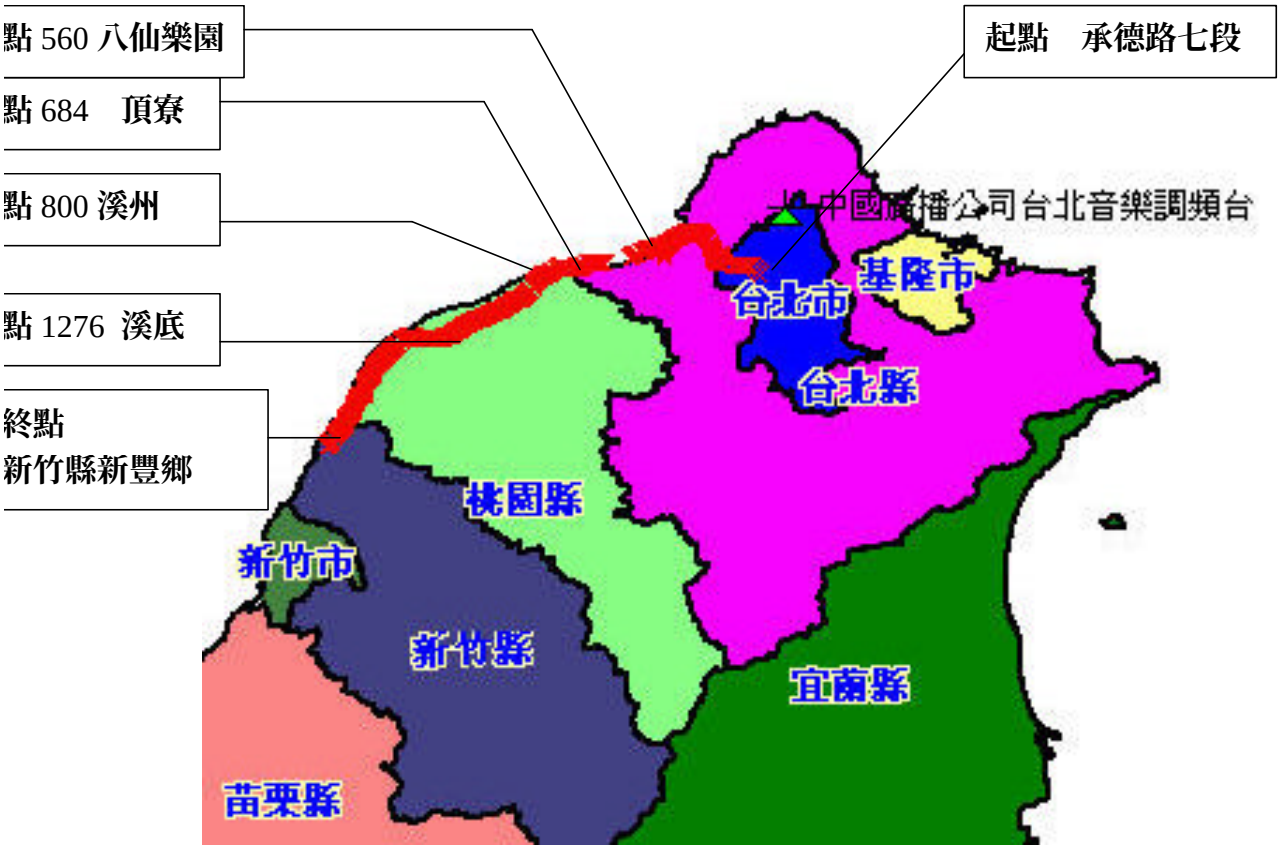


圖 5.23 台北->桃園量測路徑

之量測資料來比對，此路段 L&S 之模擬值較接近模擬值。而在量測點 800(林口)之後 ITU-R370 及 ITU-R1546 較接近量測值，這是因為竹子山高約 1000m 觀音山高約 500m 且觀音山約位於竹子山與量測點 800 中間處，所以不再受觀音山阻隔且之後的路段地勢平坦之故。其量測與模擬結果如圖 5.23 所示；而誤差之期望值與標準差如表 5.11 所示。

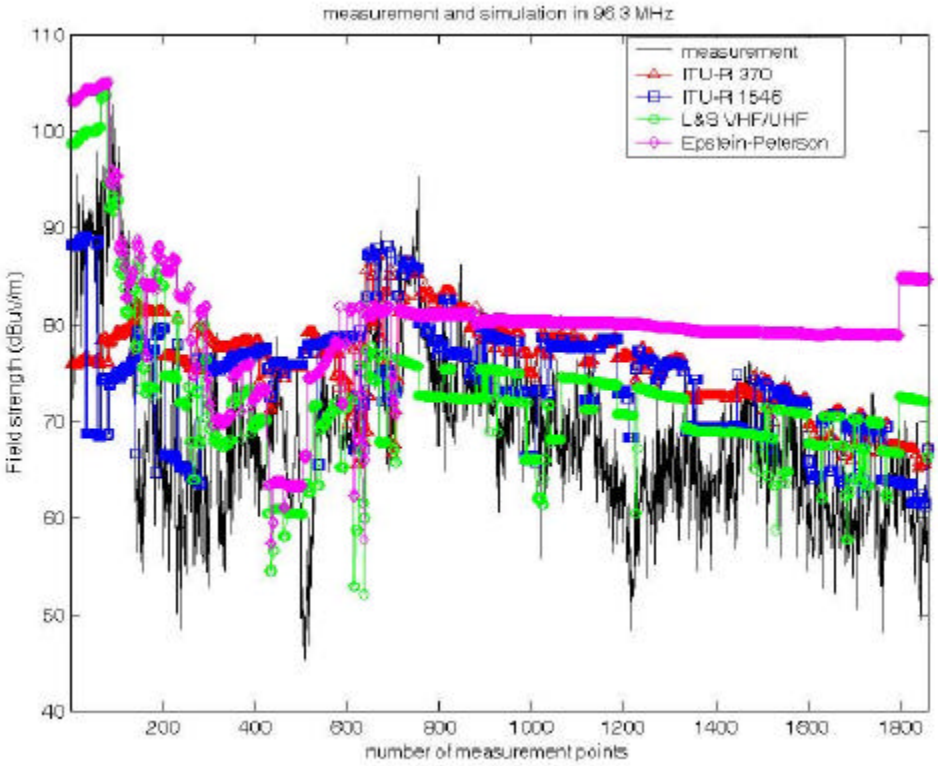


圖 5.24 中廣台北音樂網量測與模擬結果

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	3.58310	1.31920
量 測 V.S ITU R-370	-7.29080	8.13230
量 測 V.S ITU R-1546	-5.43630	8.52300
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-3.59630	7.94570
量 測 V.S Epstein-Peterson	-11.51400	8.60790
ITU R-370 V.S ITU R-1546	1.85450	4.17480
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	3.69440	7.96590
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-4.22320	8.20600
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	1.84000	8.27900
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-6.07770	9.08300
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.91770	3.93140

表 5.11 中廣台北音樂網量測與傳播模式間之比較

5.4.1.3 **桃園北上至台北量測路線與分析**

圖 5.25 **量測路徑由桃園縣楊梅鎮沿台** 1 **線至台北市基隆路，發射站為中廣台北音樂臺**(96.3MHz **位於竹子山**)

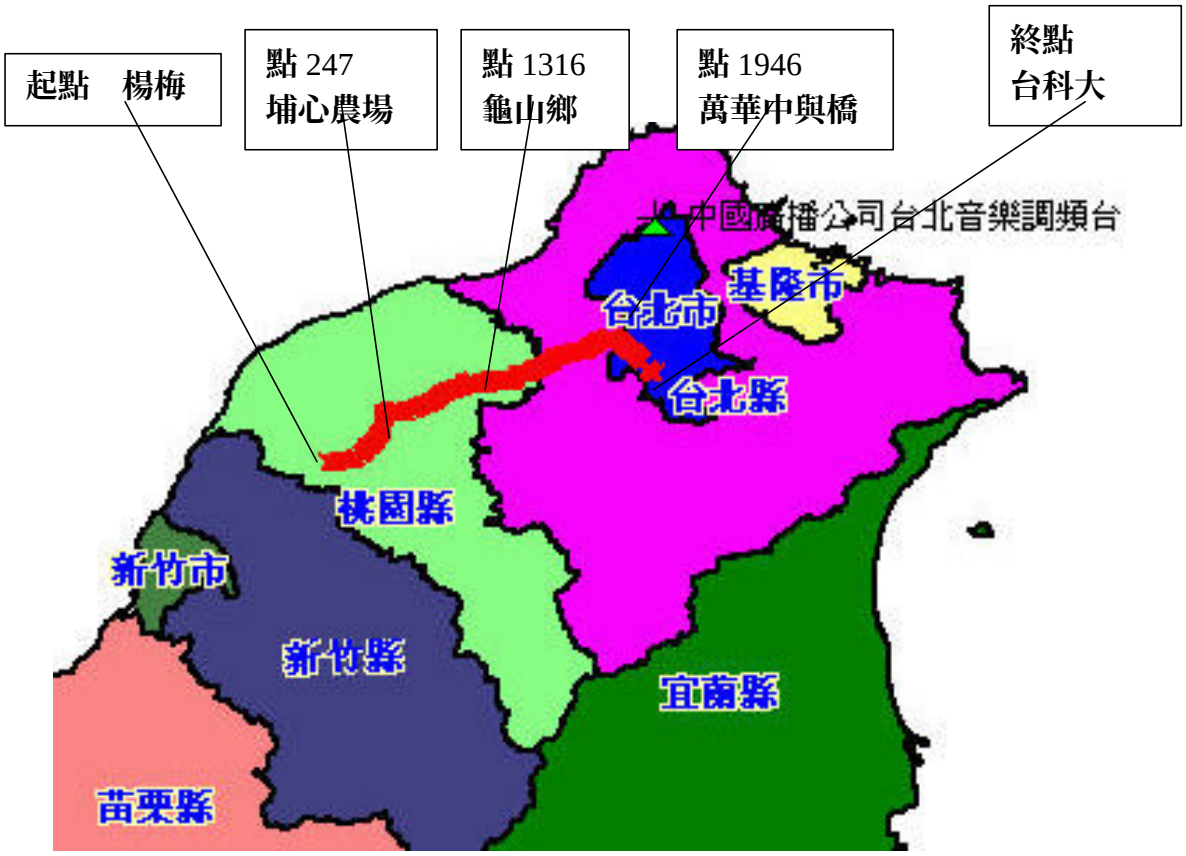


圖 5.25 **桃園->台北量測路徑**

由於竹子山高約 1000 **公尺，且於台北盆地外地勢起伏不大，故以** ITU **系列較為合適此區域，尤其是** ITU-R1546

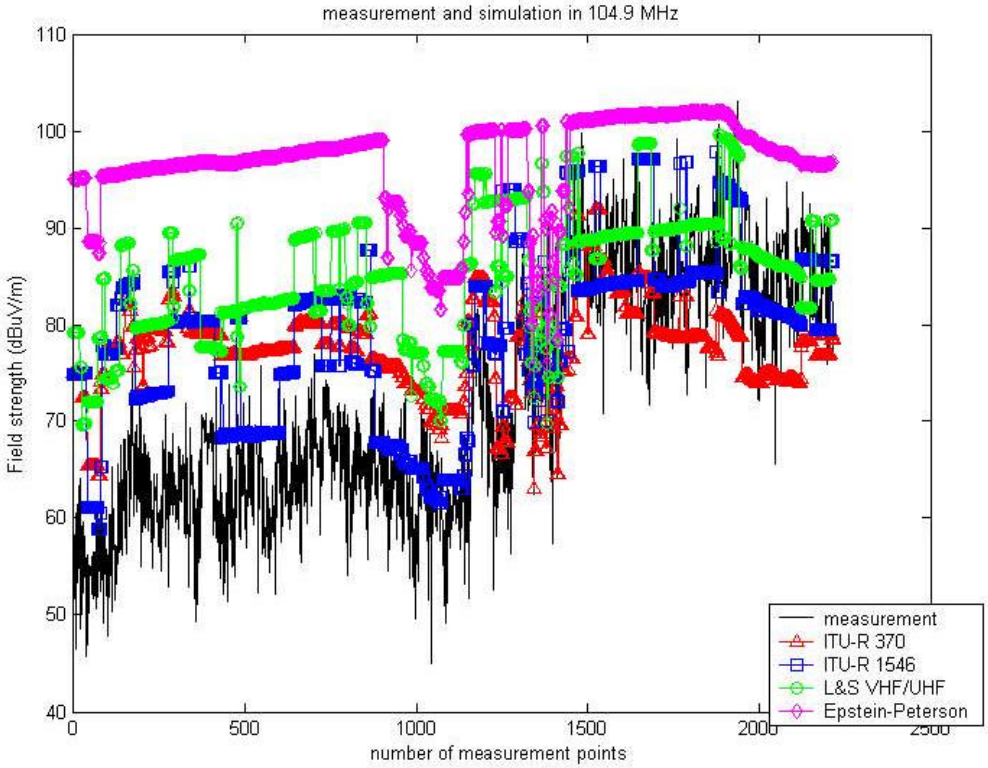


圖 5.26 中廣音樂網量測與模擬結果

表 5.12 中廣音樂網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	3.99718	1.17381
量 測 V.S ITU R-370	-5.40725	11.30967
量 測 V.S ITU R-1546	-6.63234	9.23833
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-12.91656	9.69349
量 測 V.S Epstein-Peterson	-24.38000	10.52323
ITU R-370 V.S ITU R-1546	-1.22509	7.01862
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-7.50931	5.35141
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-18.97275	3.58911
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-6.28422	5.77068
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-17.74766	6.20114
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-11.46344	4.39522

5.4.2 芬園共站台量測與模擬分析

5.4.2.1 發射台參數以及天線場型

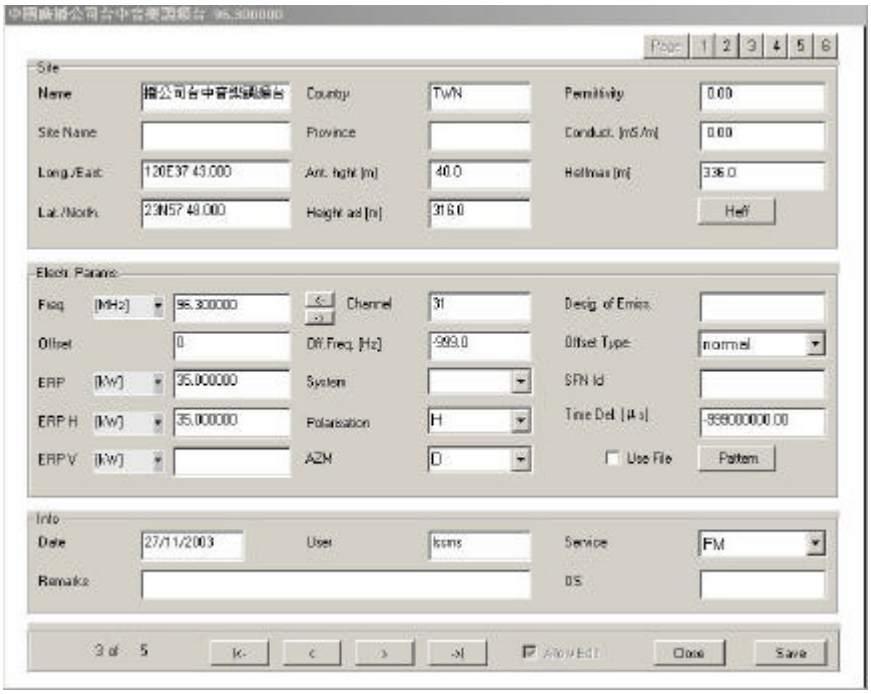


圖 5.27 中廣台中音樂調頻台發射機參數

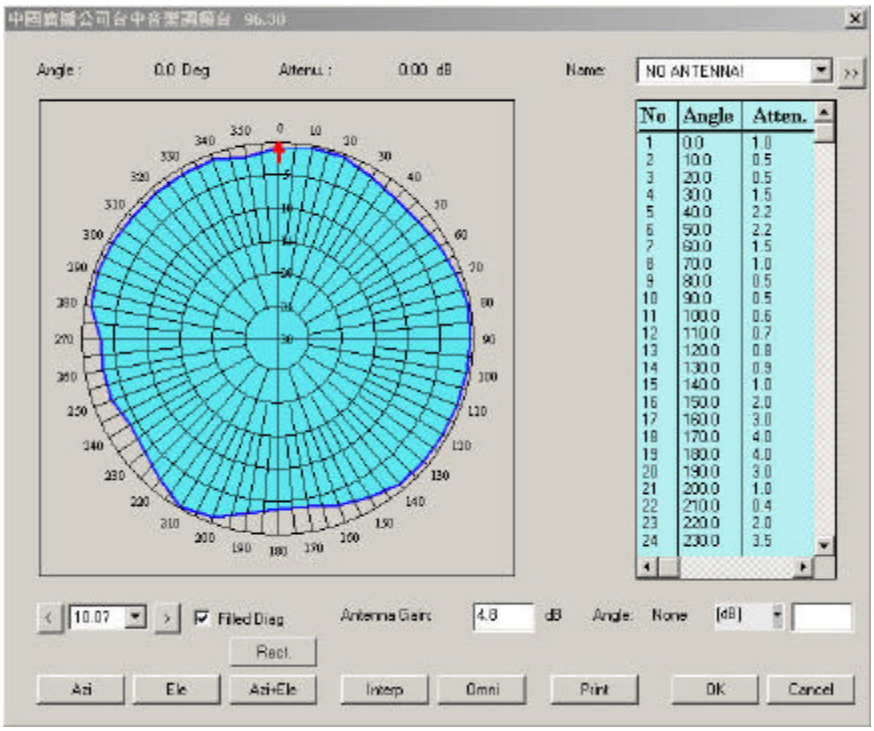


圖 5.28 中廣台中音樂調頻台發射天線場型

5.4.2.2 台中南下雲林量測路線與分析

圖 5.29 路徑自台中縣大安鄉沿濱海公路至雲林台西鄉，取中廣台中音樂網(96.3MHz，位於彰化芬園)之量測值比較，

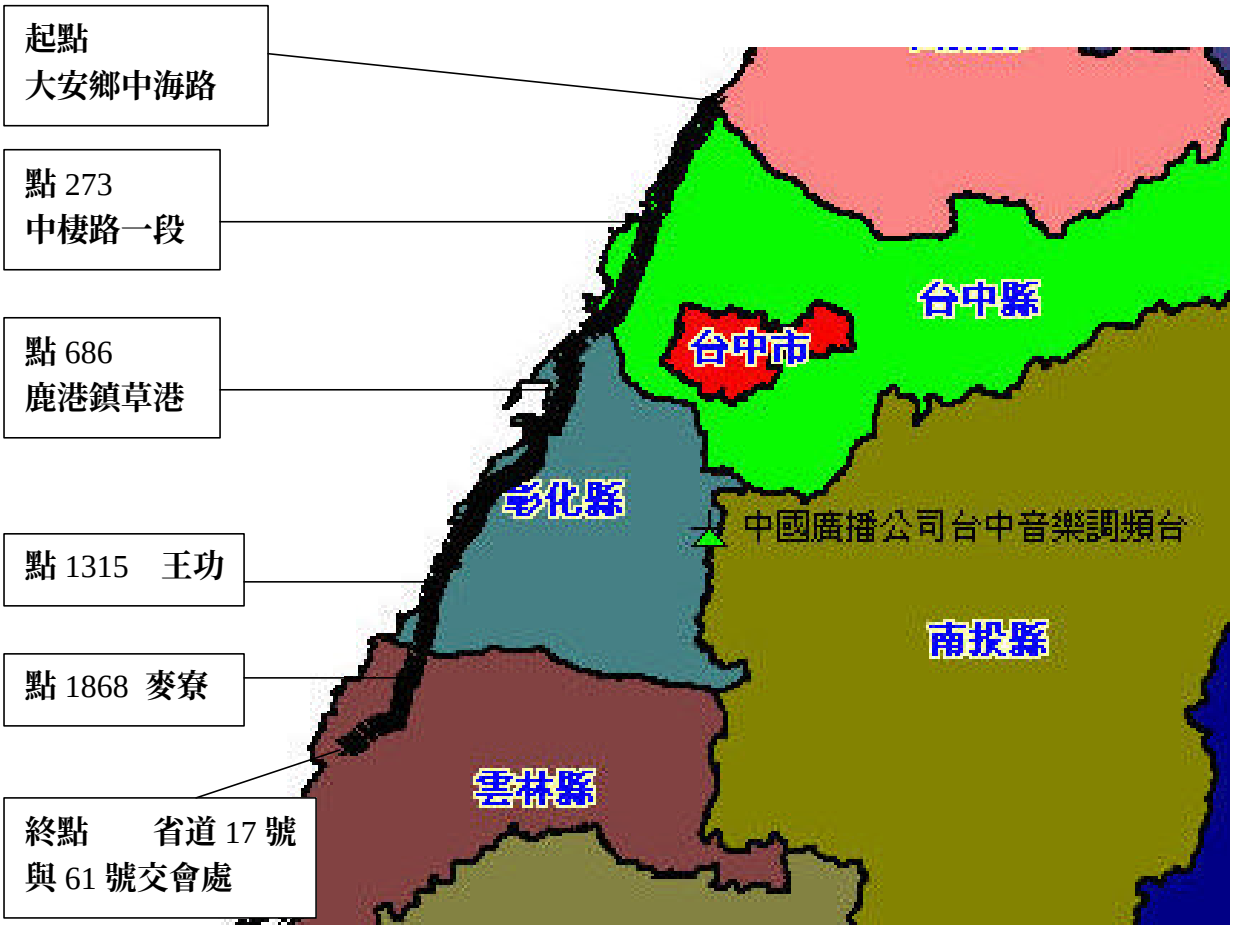


圖 5.29 台中->雲林量測路徑

因自芬園以西為平原地形，無山丘阻隔，所以可發現 ITU-R370、ITU-R1546 的模擬值與量測結果較為接近。

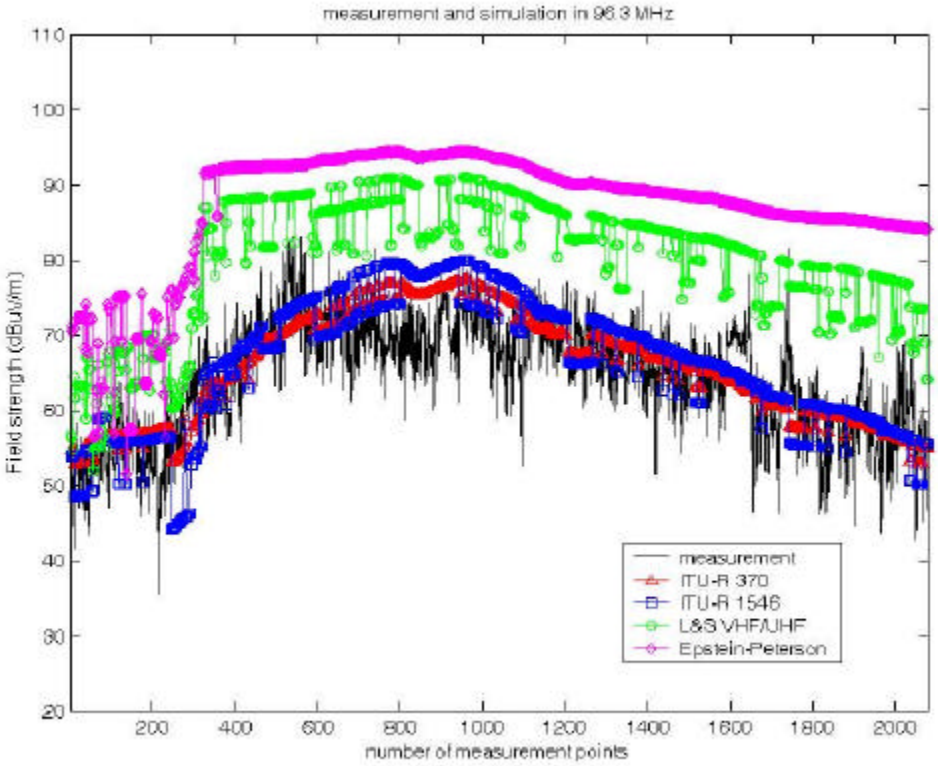


圖 5.30 中廣台中音樂網量測與模擬結果

表 5.13 中廣台中音樂網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.94164	1.34414
量 測 V.S ITU R-370	-1.25728	5.30023
量 測 V.S ITU R-1546	-1.72085	6.15420
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-15.70881	6.07529
量 測 V.S Epstein-Peterson	-22.76581	6.32272
ITU R-370 V.S ITU R-1546	-0.46357	2.22979
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-14.45153	4.72066
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-21.50853	5.30403
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-13.98796	4.90168
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-21.04496	5.76048
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.05700	4.08832

5.4.2.3 雲林北上至台中量測路線與分析

圖 5.31 的量測路徑自雲林縣西螺鄉沿台 1 線至台中市區，同樣取芬園之中廣台中音樂網(96.3MHz)之量測值比較，

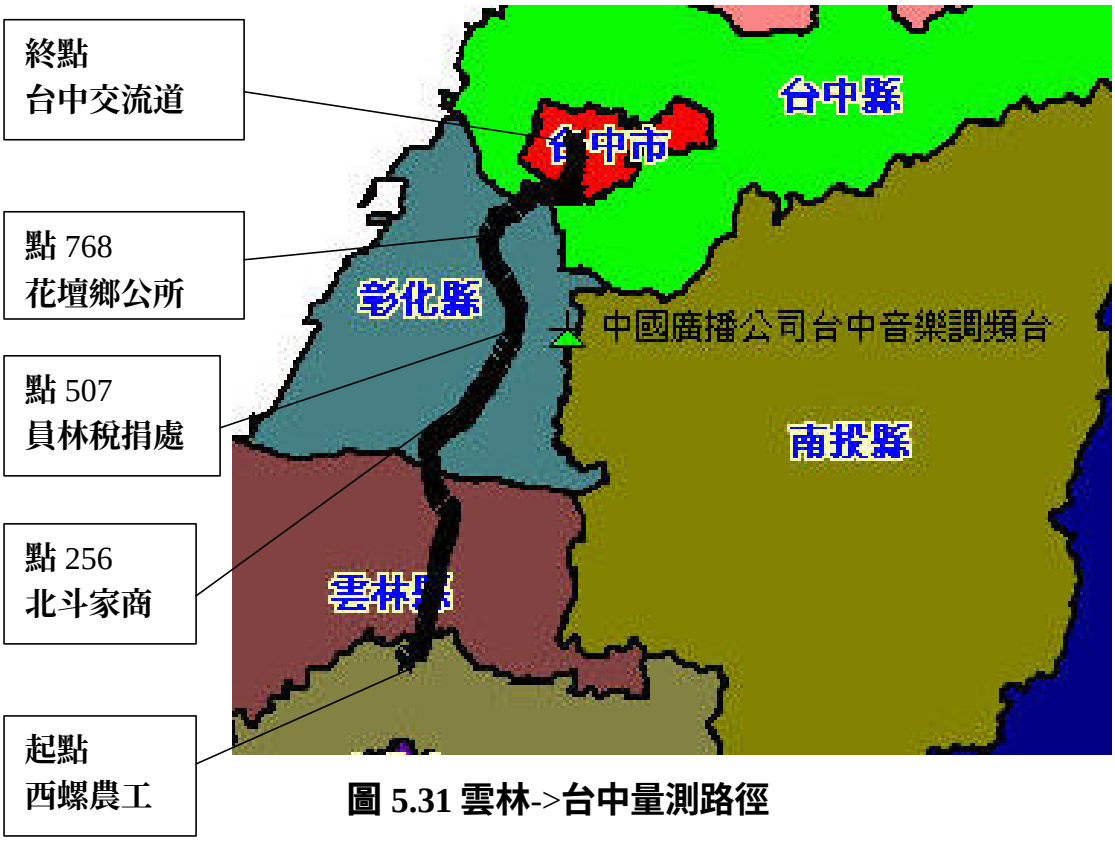


圖 5.31 雲林->台中量測路徑

在圖上可以發現除了從量測點 700(彰化縣大村鄉附近)至量測點 1200(台中縣烏日鄉附近)因受山脈走勢影響使場強值受到嚴重衰減外，其餘地區所處地形多屬平原，故 ITU-R370、ITU-R1546 的模擬值較接近量測結果。

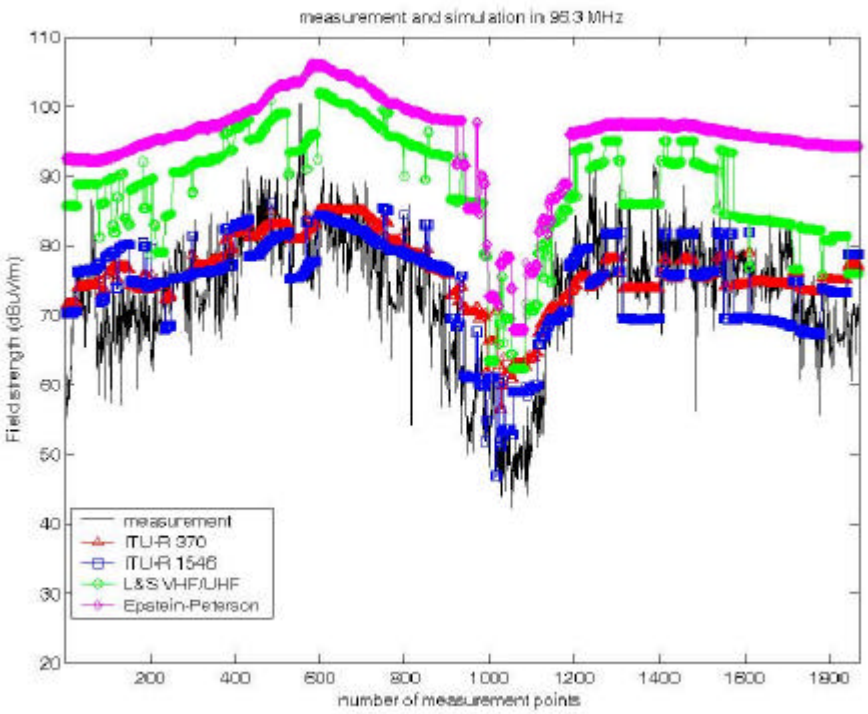


圖 5.32 中廣台中音樂網量測與模擬結果

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.38863	1.30630
量 測 V.S ITU R-370	-2.65624	6.59145
量 測 V.S ITU R-1546	-0.97317	6.93994
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-15.01374	6.82629
量 測 V.S Epstein-Peterson	-21.91188	5.84689
ITU R-370 V.S ITU R-1546	1.68307	3.43038
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-12.35750	4.65300
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-19.25565	3.46419
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-14.04057	4.86491
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-20.93871	4.54548
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.89814	4.21318

表 5.14 中廣台中音樂網量測與傳播模式間之比較

5.4.3 火炎山

5.4.3.1 發射台參數以及天線場型

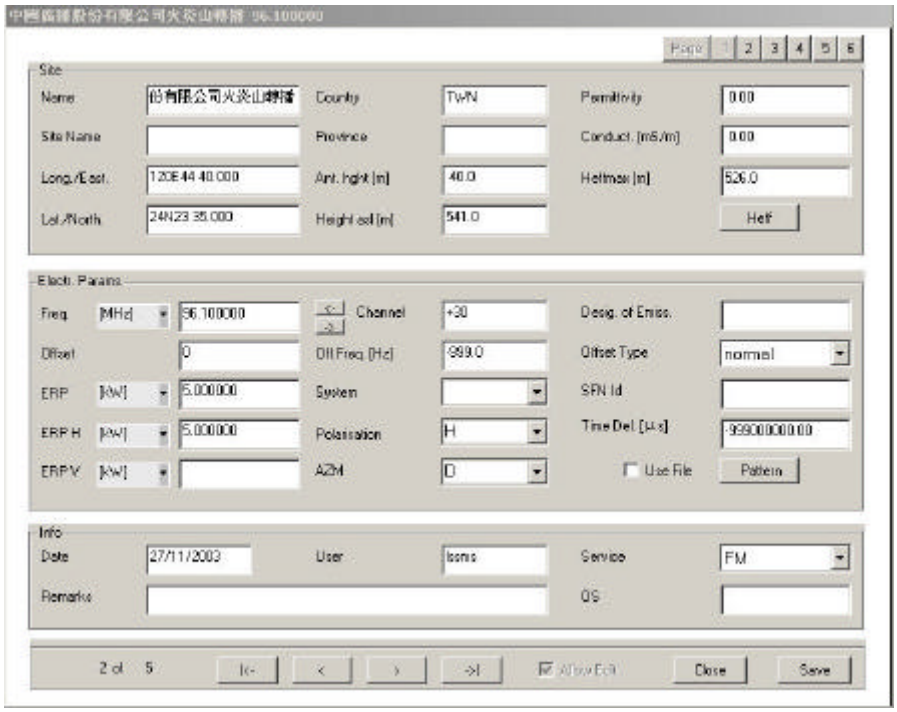


圖 5.33 中廣火炎山轉播網發射機參數

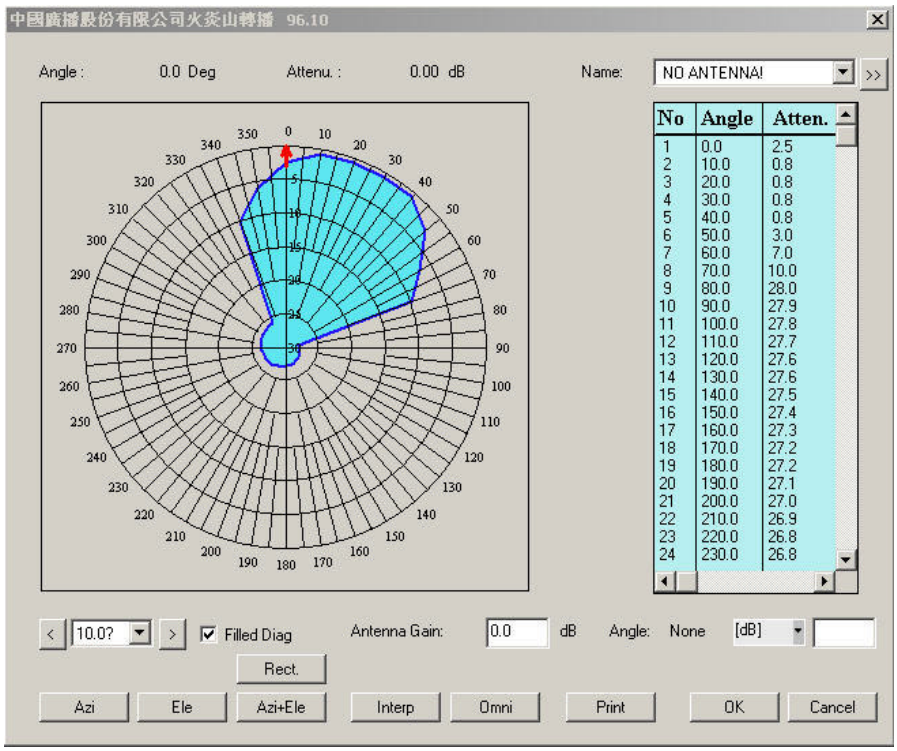


圖 5.34 中廣火炎山轉播網發射天線場型

5.4.3.2 新竹南下苗栗量測路線與分析

圖 5.35 的量測路徑自新竹縣新豐鄉沿西濱公路至苗栗縣苑裡鎮，取中廣火炎山轉播台(96.1MHz，位於苗栗火炎山)之量測值與模擬值比較。

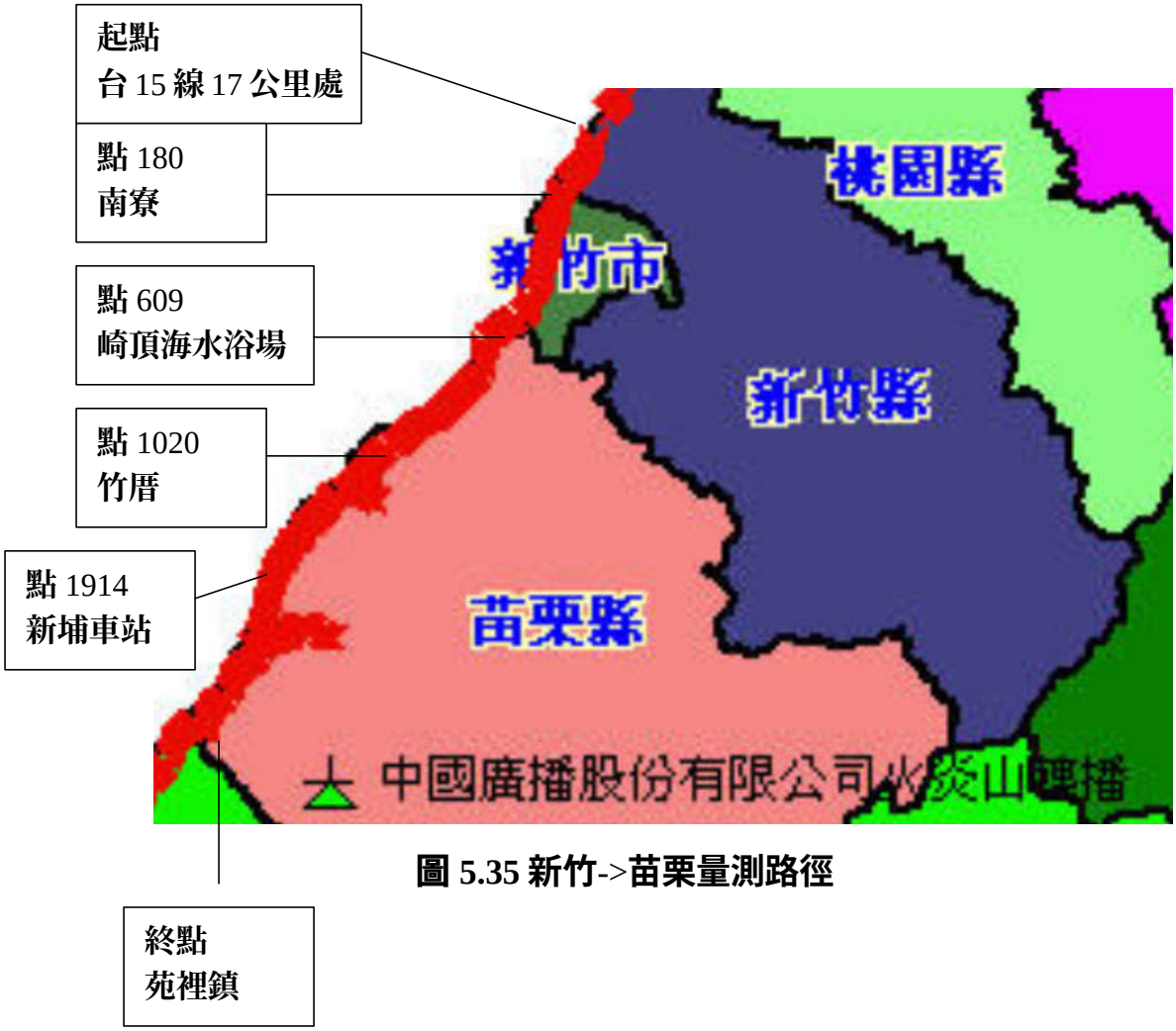


圖 5.35 新竹->苗栗量測路徑

就整個路段而言，L&S 之模擬結果較為接近量測值，但在量測點 600(苗栗縣 竹南鎮 崎頂海水浴場附近)至量測點 1800(省道 1 號與省道 61 號交會口附近)因發射站地勢較高，且此路段較為平坦，故 ITU-R1546 較接近量測結果。

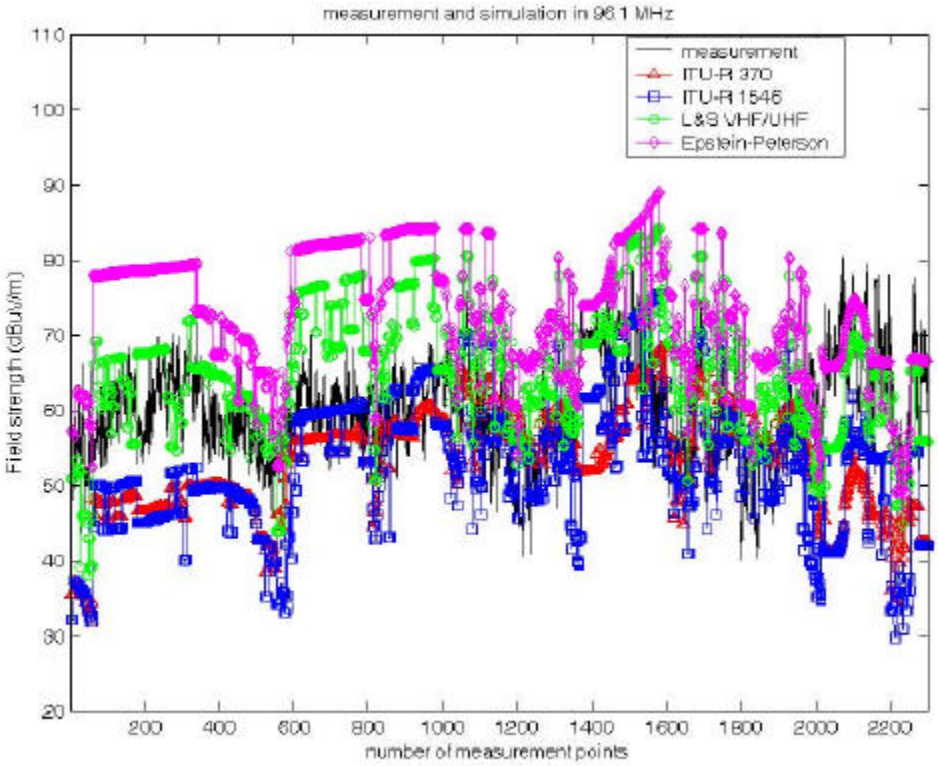


圖 5.36 中廣火炎山轉播網量測與模擬結果

表 5.15 中廣火炎山轉播網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.26100	1.20900
量 測 V.S ITU R-370	6.99500	9.52300
量 測 V.S ITU R-1546	7.45100	9.42700
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-4.84800	8.56700
量 測 V.S Epstein-Peterson	-12.38500	8.67800
ITU R-370 V.S ITU R-1546	0.45600	5.52200
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-11.84300	6.74400
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-19.38000	7.85200
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-12.29900	5.81200
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-19.83600	6.64800
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.53700	4.92100

5.4.3.3 苗栗北上至新竹量測路線與分析

圖 5.37 的量測路徑自苗栗縣西湖鄉接台 13 線經苗栗市至頭份轉縣道 124 線至新竹峨眉鄉(約距苗栗交界處 2 公里)，取中廣火炎山轉播網 (96.1MHz，位於苗栗火炎山)之量測與模擬值比較，

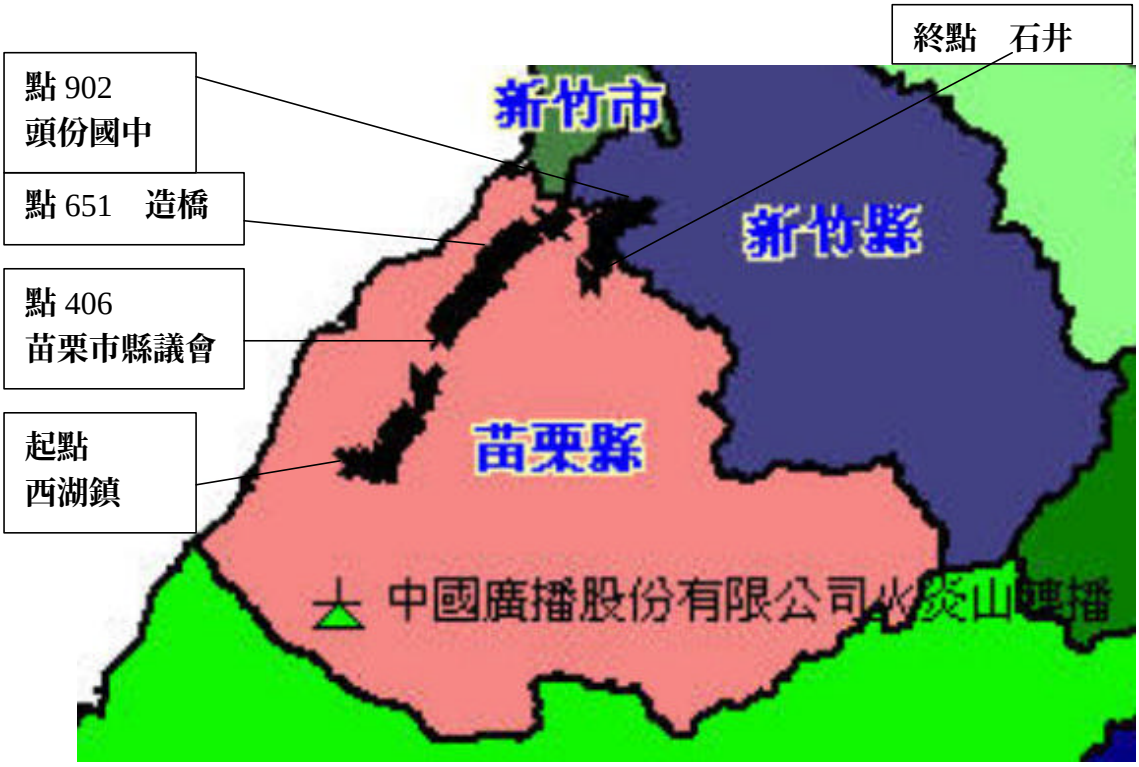


圖 5.37 苗栗->新竹量測路徑

此時同樣發現在整個路段 L&S 與量測值較為接近，且在量測點起點(苗栗縣西湖鄉牛埔附近)至量測點 651(造橋附近)ITU-R1546 比 L&S 更接近量測值，經由圖 5.35 量測點 600 至 1800 點之路段比對後發現，此兩路段之起始點與終點與發射站所形成之夾角大致重疊。

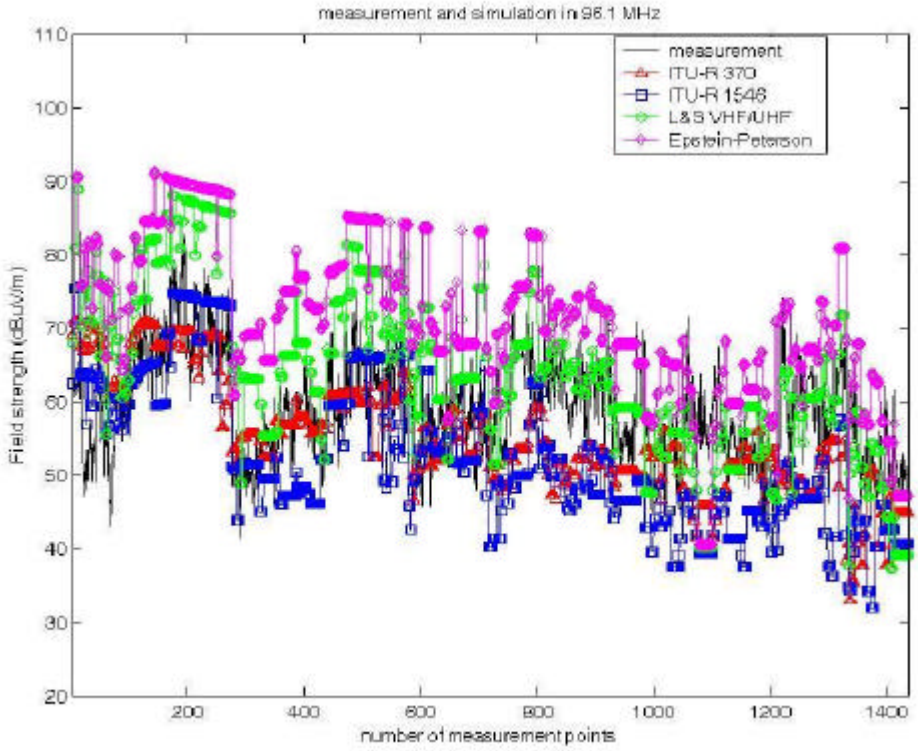


圖 5.38 中廣火炎山轉播網量測與模擬結果

表 5.16 中廣火炎山轉播網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	3.41896	1.31220
量 測 V.S ITU R-370	3.85516	7.80295
量 測 V.S ITU R-1546	6.72344	8.23518
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-4.91714	9.10045
量 測 V.S Epstein-Peterson	-12.13958	8.58730
ITU R-370 V.S ITU R-1546	2.86829	6.06042
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-8.77229	7.33521
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-15.99474	7.00860
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-11.64058	5.43442
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-18.86302	5.66873
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-7.22245	3.52077

5.4.4 高雄

5.4.4.1 發射台參數以及天線場型

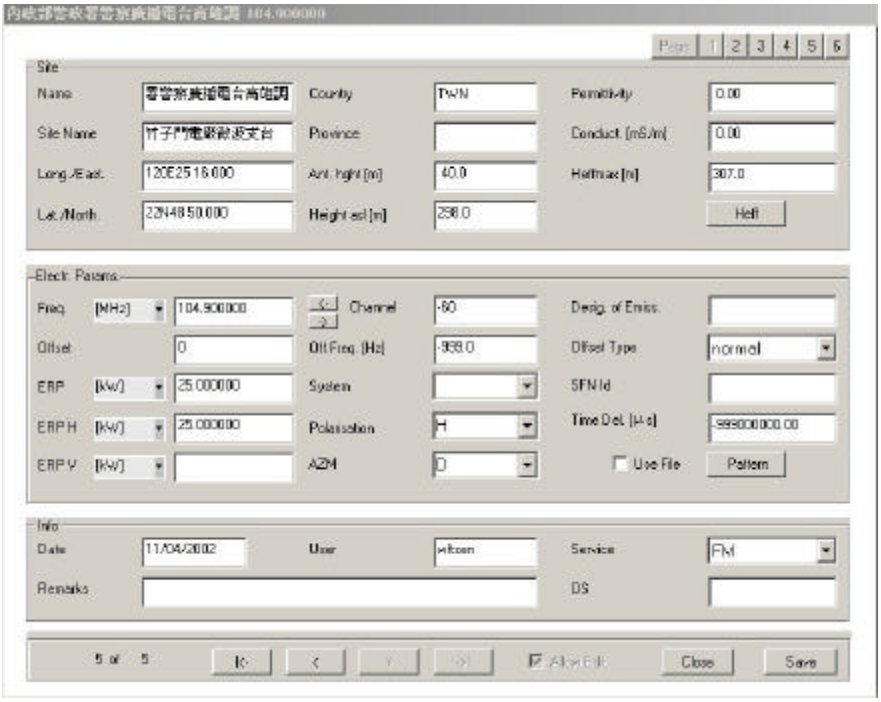


圖 5.39 高雄警廣交通網發射機參數

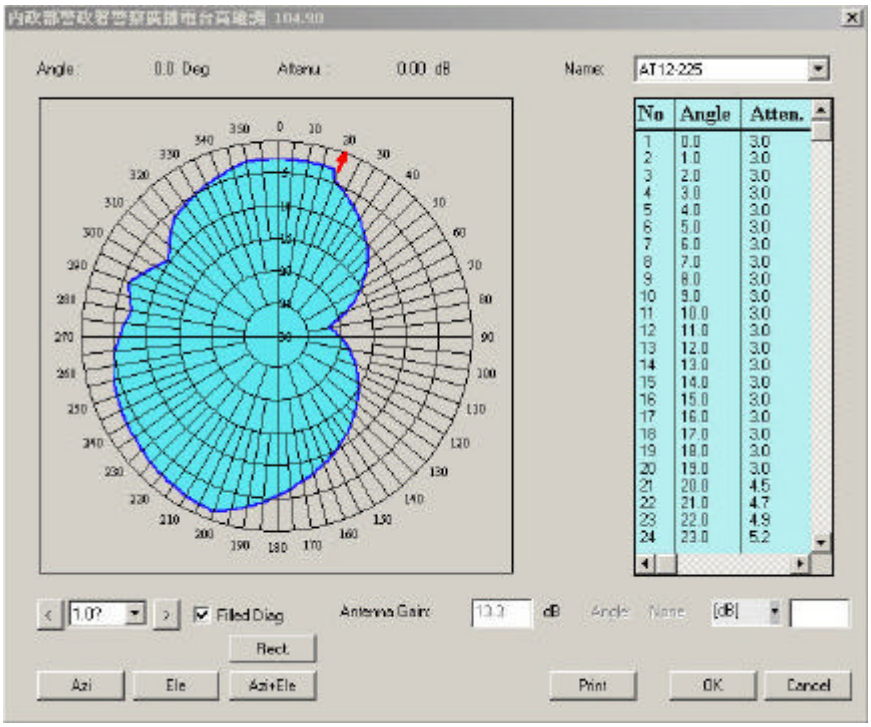


圖 5.40 高雄警廣交通網發射天線場型

5.4.4.2 台南南下屏東量測路線與分析

圖 5.41 **的量測路徑為台南市南區沿濱海公路至屏東楓港，取高雄警廣交通**

網台(104.9MHz，**位於高雄中寮**)**之量測值做比較，**

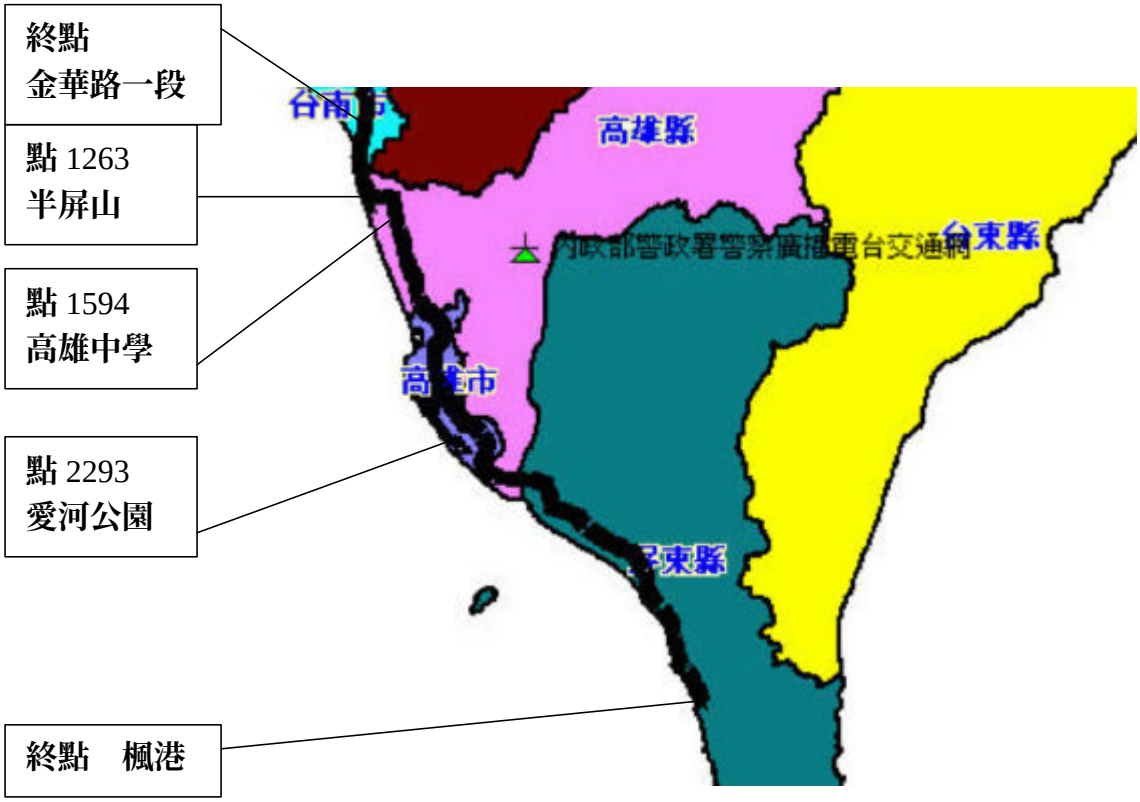


圖 5.41 台南->高雄量測路徑

可發現 ITU-R370、ITU-R1546 **及** L&S **之趨勢皆與量測值相近，但就整個路而言，**L&S **之模擬值與量測值較相近。**

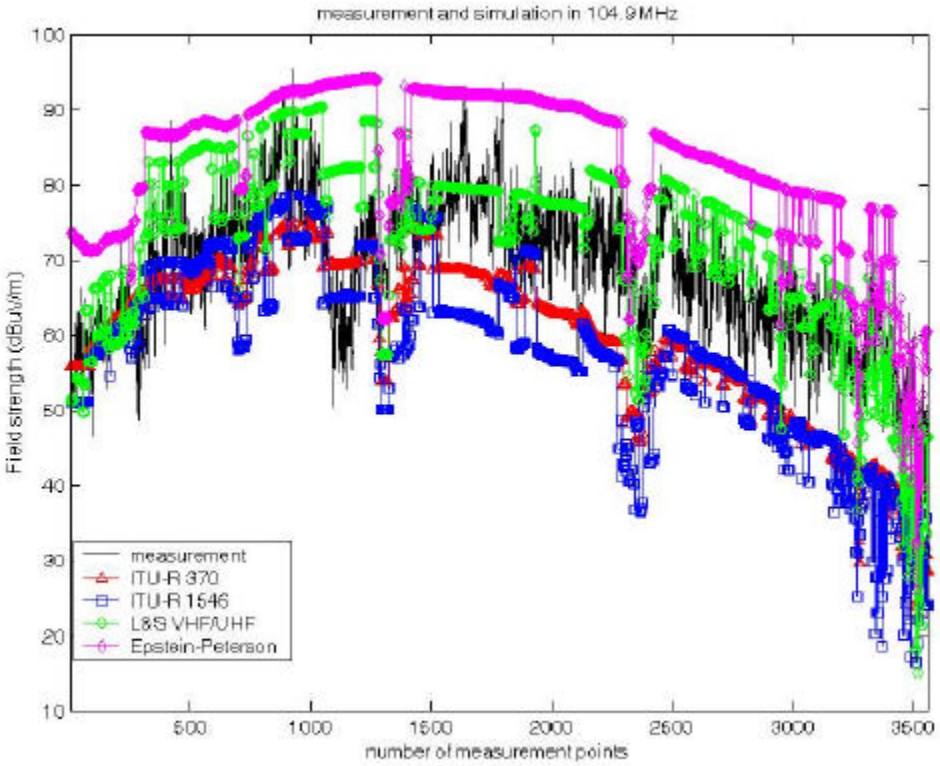


圖 5.42 高雄警廣交通網量測與模擬結果

表 5.17 高雄警廣交通網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.96817	1.11130
量 測 V.S ITU R-370	8.72697	7.66736
量 測 V.S ITU R-1546	10.62669	8.96108
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-3.46341	8.29511
量 測 V.S Epstein-Peterson	-14.06939	7.74503
ITU R-370 V.S ITU R-1546	1.89972	3.75041
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-12.19038	6.79508
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-22.79636	5.84792
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-14.09009	7.68257
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-24.69607	7.18453
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-10.60598	5.10750

5.4.4.3 屏東北上至台南量測路線與分析

圖 5.43 的量測路徑自屏東新埤鄉沿台 1 線進高雄市再接台 3 線至台南縣接台 84 線入口處，取高雄警廣交通網之量測值與模擬值比較。

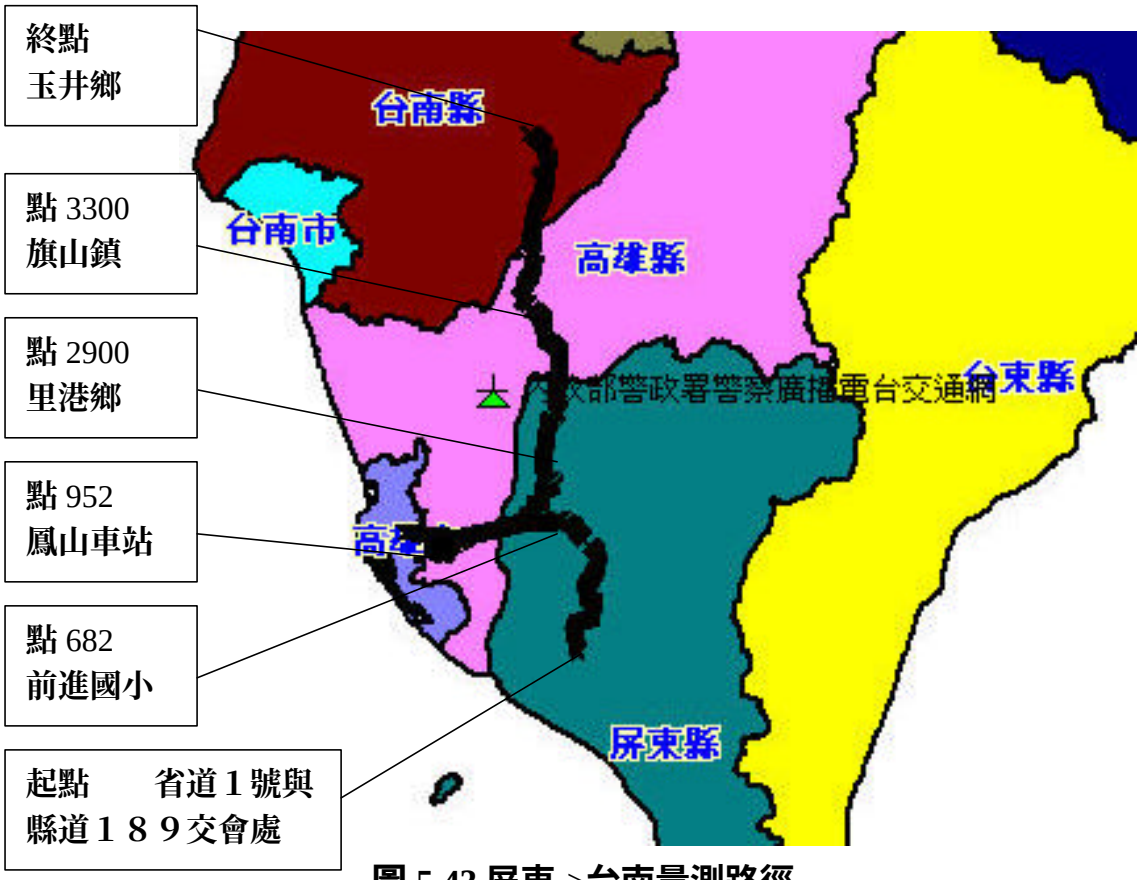


圖 5.43 屏東->台南量測路徑

在量測點 2900(屏東縣里港鄉)至 3300(高雄縣旗山鎮)間場強值快速衰減是因為此路段正好位於發射站之天線場型 NULL 處，除量測點 3400 後(將進入台南縣)ITU-R370、ITU-R1546 之模擬值較接近量測值外，L&S 較適合此區域。

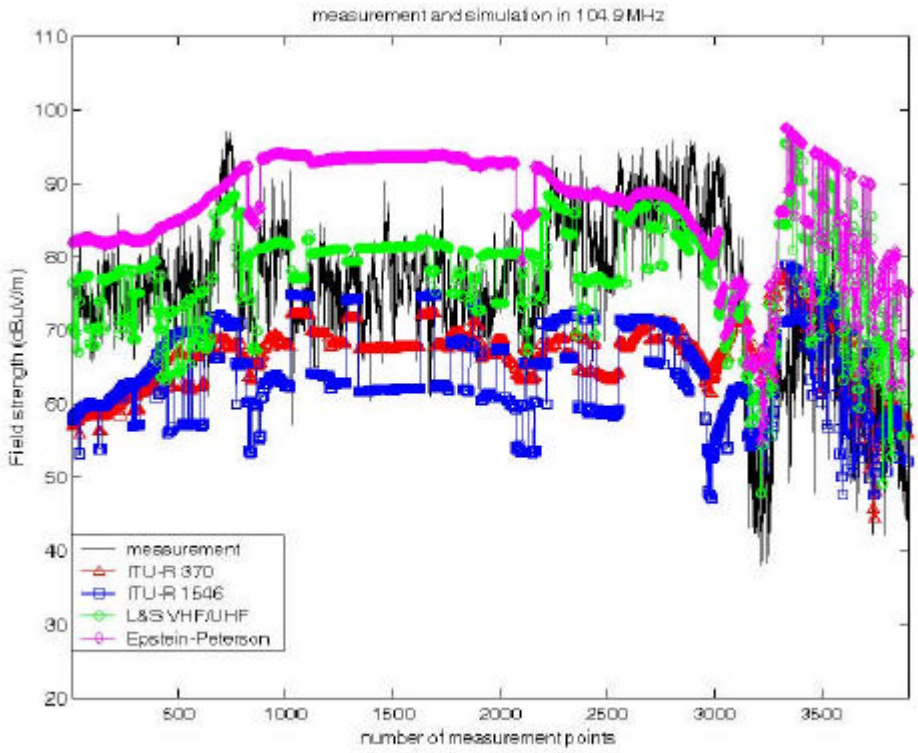


圖 5.44 高雄警廣交通網量測與模擬結果

表 5.18 高雄警廣交通網量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	3.48620	1.29245
量 測 V.S ITU R-370	8.27710	10.32386
量 測 V.S ITU R-1546	0.75299	10.51581
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-2.79441	8.91695
量 測 V.S Epstein-Peterson	-11.78018	9.64739
ITU R-370 V.S ITU R-1546	2.47590	4.42094
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-11.07151	6.36705
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-20.05728	6.67770
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-13.54740	6.83530
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-22.53317	6.75425
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-8.98577	5.39928

5.5 西部地區電視台實際量測與模擬結果分析

5.5.1 北部地區

5.5.1.1 發射台參數以及天線場型

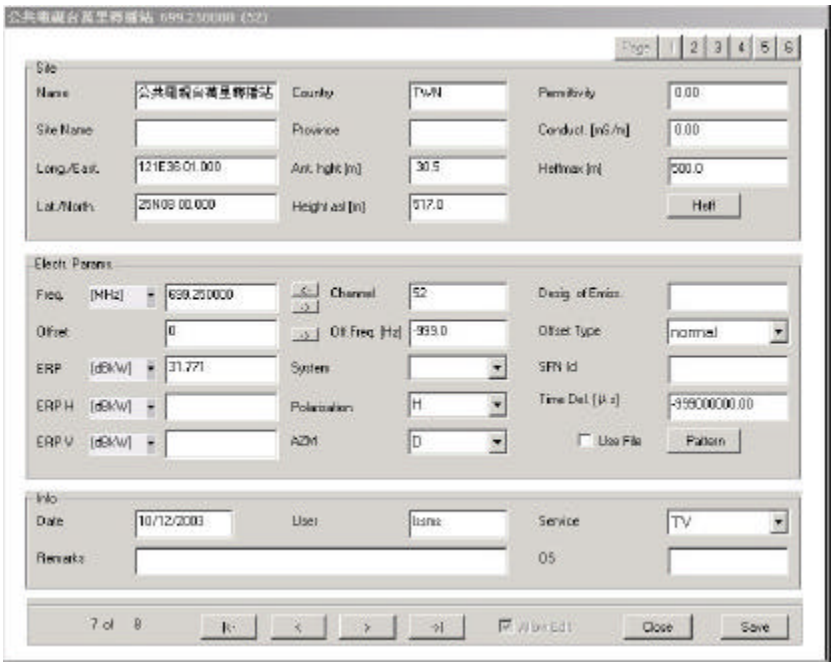


圖 5.45 **公視電視台發射機參數**

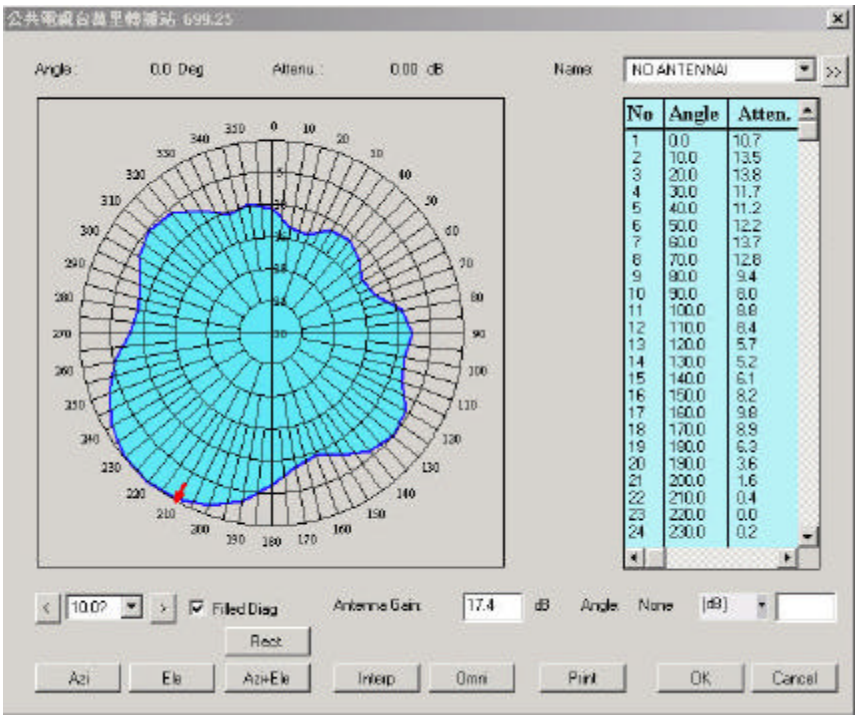


圖 5.46 **公視電視台發射天線場型**

5.5.1.2 北部地區電視台量測路線與分析

圖 5.47 量測路徑經由台北市承德路 7 段經關渡大橋至八里，接濱海公路至苗栗縣苑裡鎮。

圖 5.49 量測路徑由苗栗縣西湖鄉沿台 13 線經苗栗市至頭份接縣道 124，至關西交流道轉縣道 118 接台 1 線北上至台北市，發射站為公視(699.25MHz，位於台北市五指山)，由於五指山地勢較高且出台北盆地後的量測區域地勢起伏不大，故以 ITU-R 系列的模型較接近量測值。

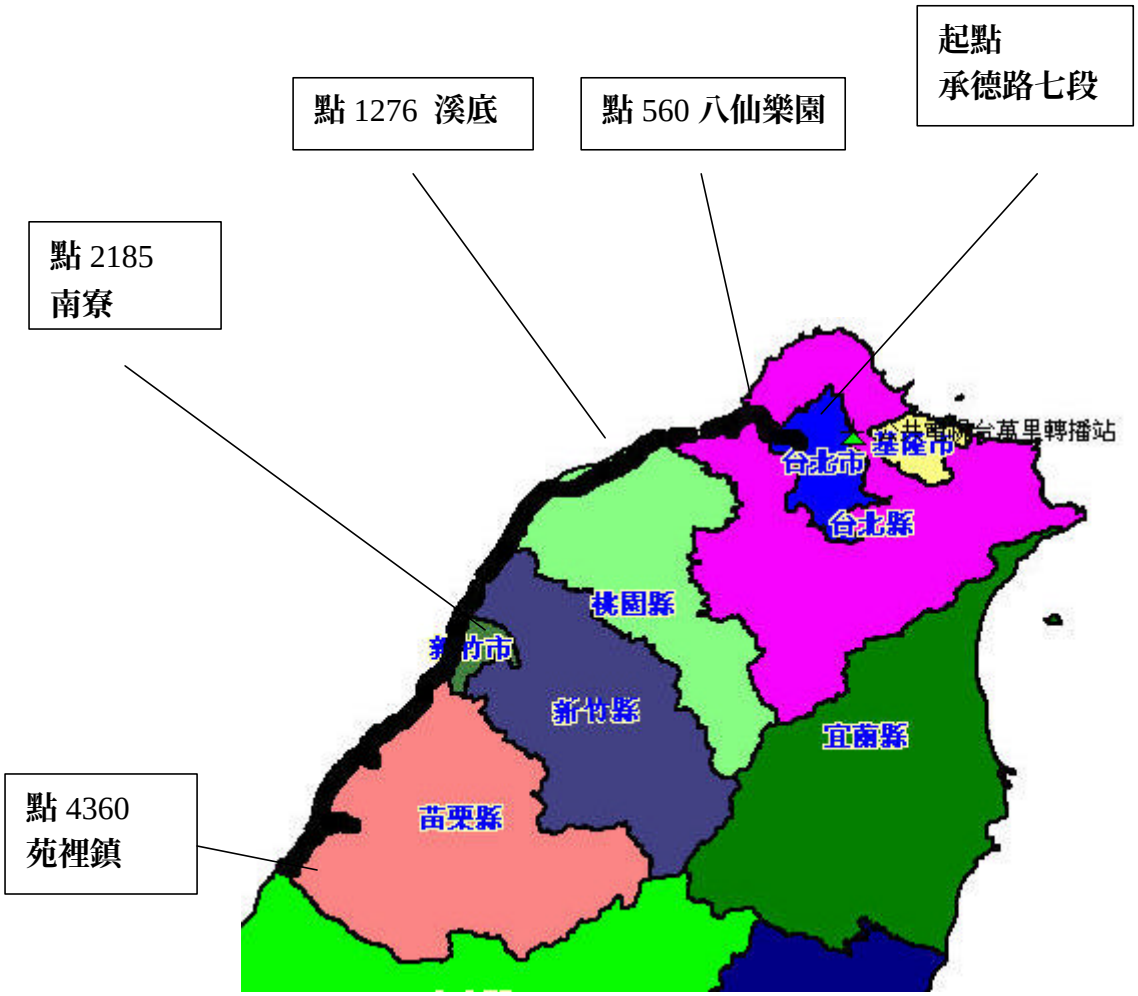


圖 5.47 台北->苗栗量測路線

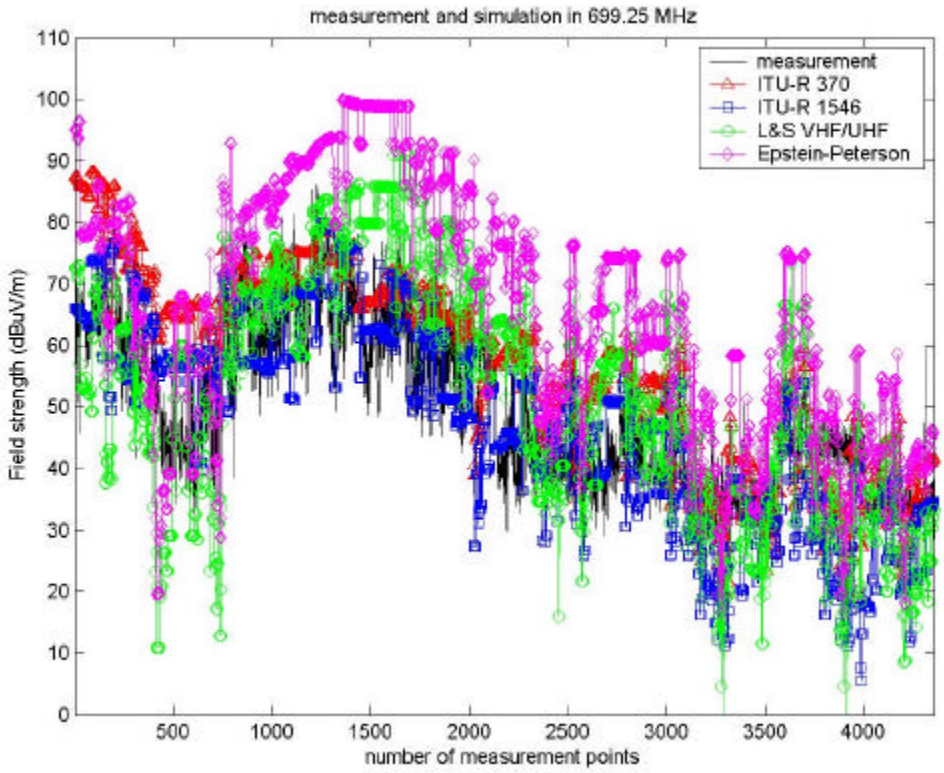


圖 5.48 公視量測與模擬結果

表 5.19 公視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.29354	1.38396
量 測 V.S ITU R-370	-6.87238	9.90655
量 測 V.S ITU R-1546	1.30274	10.45992
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-2.42842	13.19243
量 測 V.S Epstein-Peterson	-16.3622	13.69756
ITU R-370 V.S ITU R-1546	8.17511	5.80155
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	4.44396	13.47813
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-9.48983	13.0103
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-3.73116	13.21563
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-17.6649	12.84547
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-13.9338	6.11492

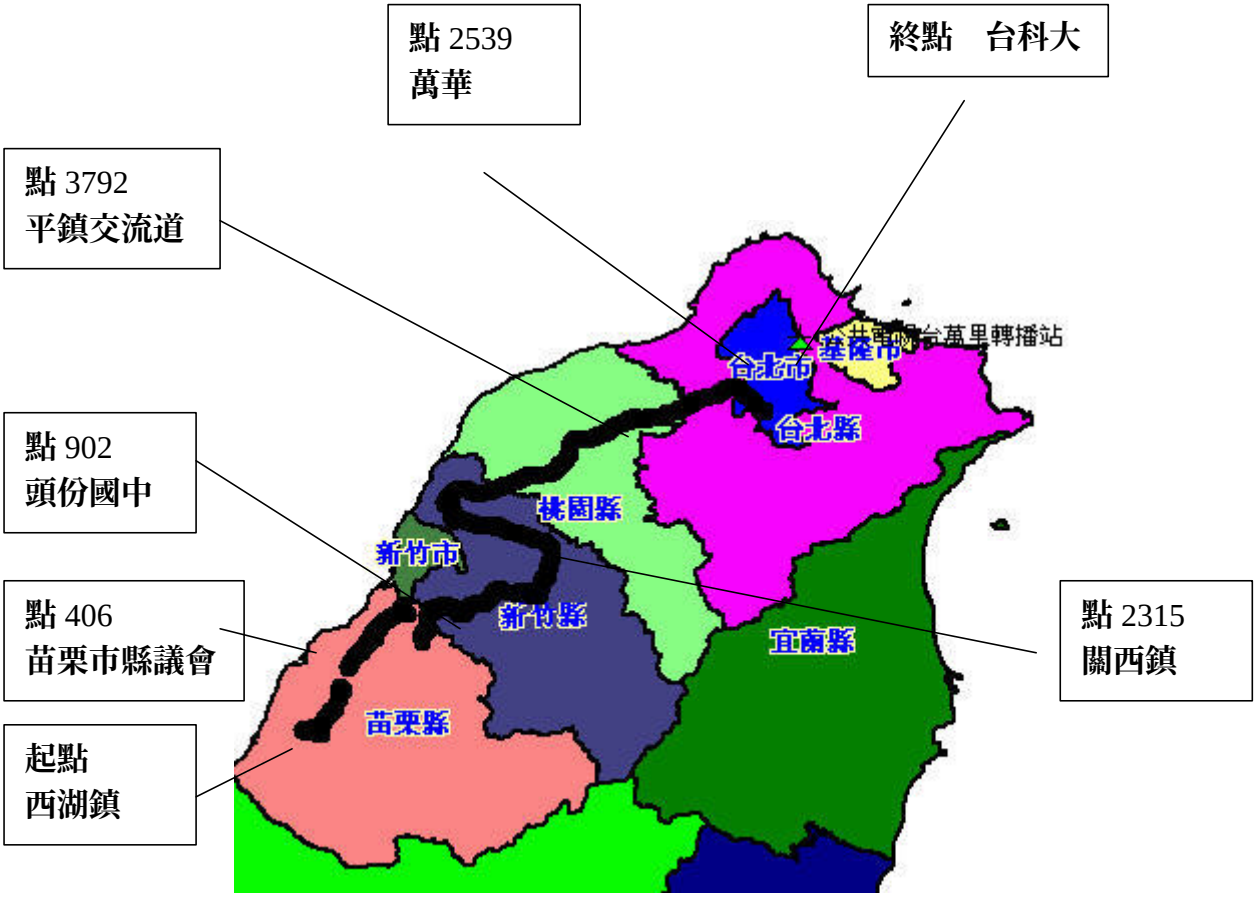


圖 5.49 苗栗->台北量測路線

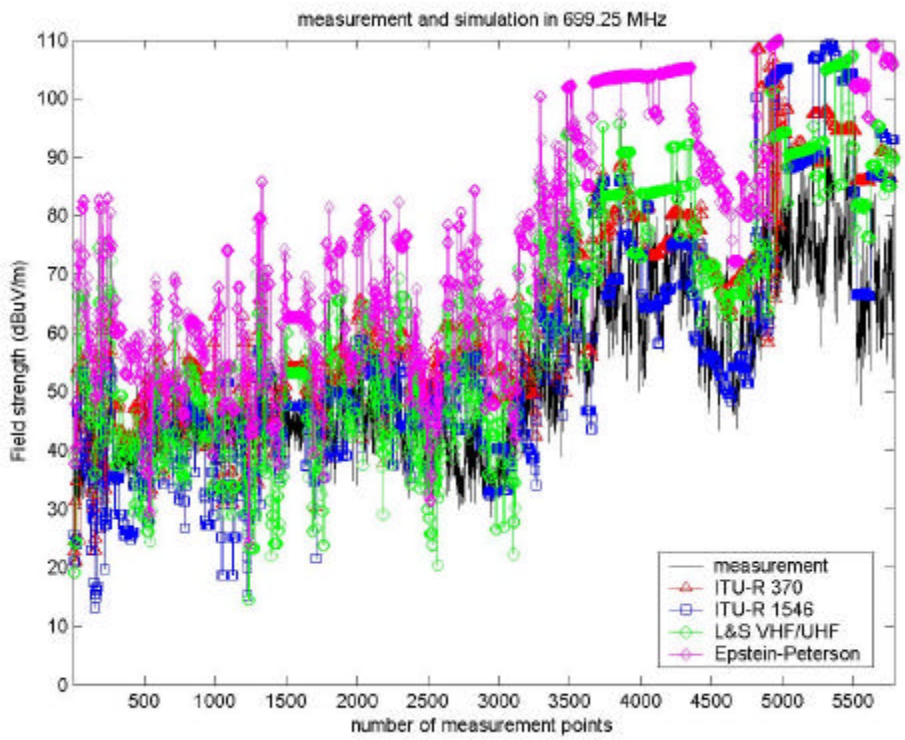


圖 5.50 公視量測與模擬結果

表 5.20 公視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.18385	1.32047
量 測 V.S ITU R-370	-9.2247	9.6316
量 測 V.S ITU R-1546	-3.0862	12.15996
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-8.24297	12.47276
量 測 V.S Epstein-Peterson	-23.1178	13.64922
ITU R-370 V.S ITU R-1546	6.13844	8.36665
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	0.98173	9.65777
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-13.8931	10.22266
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-5.15671	10.31308
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-20.0315	10.52964
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-14.8748	5.95944

5.5.2 中部地區

5.5.2.1 發射台參數以及天線場型

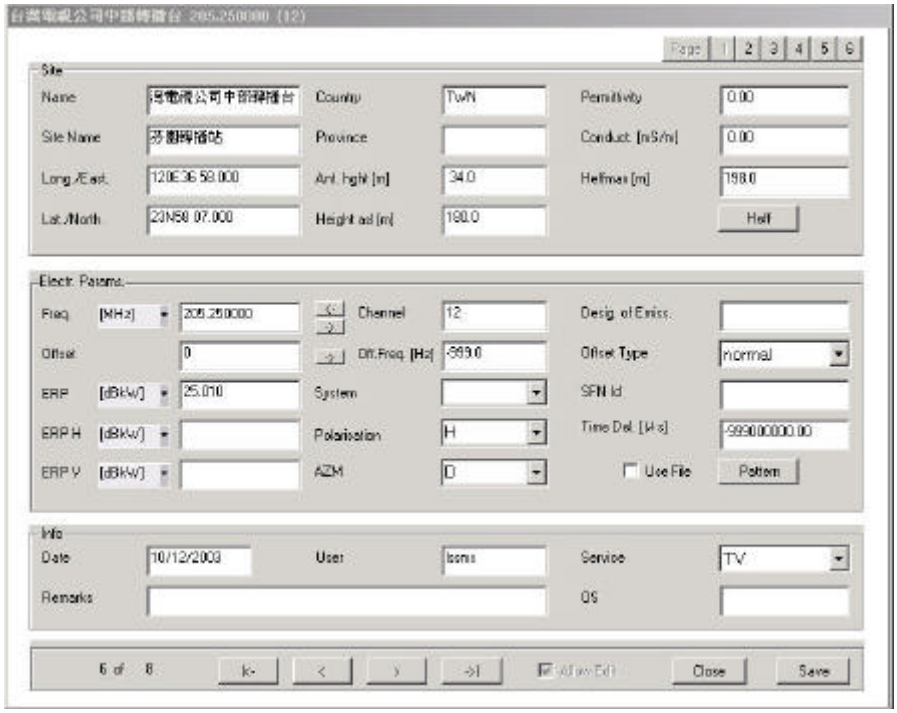


圖 5.51 台視電視台發射機參數

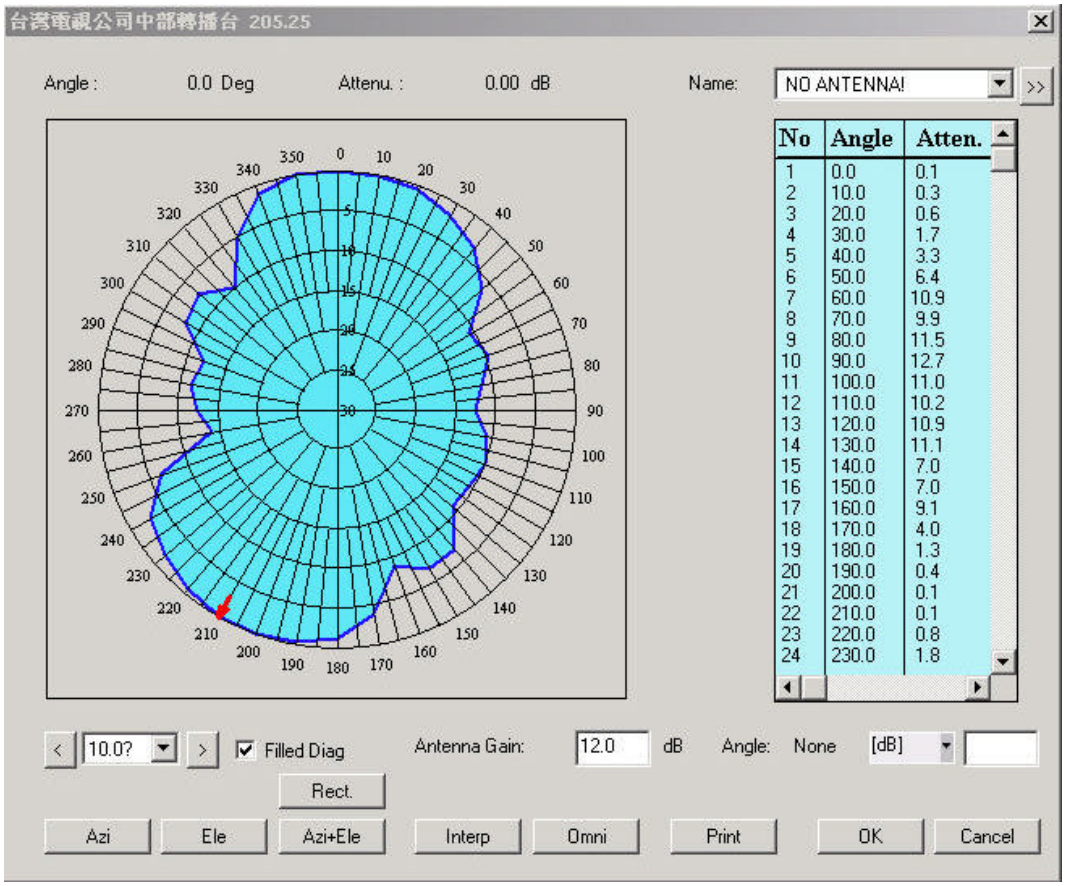


圖 5.52 **台視電視台發射天線場型**

5.5.2.2 **中部地區電視台量測路線與分析**

圖 5.53 **量測路徑由台南縣官田鄉沿台** 1 **線至台中市。**

圖 5.55 **量測路徑由苗栗通霄沿濱海公路至台南市，發射台為台視**(205.25**，位於彰化芬園)，由於此區域自發射台以西為平原地形無山脈阻隔，故以** ITU-R 370 **與** ITU-R 1546 **較符合量測值。**

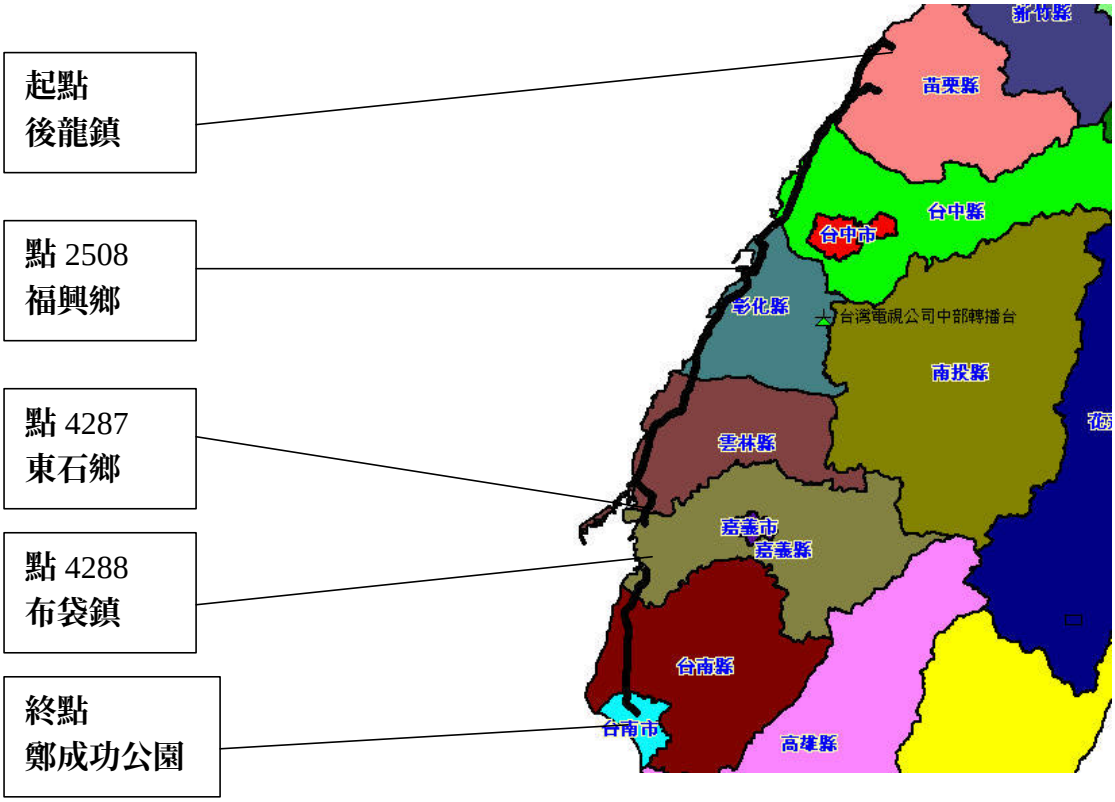


圖 5.53 苗栗->台南量測路線

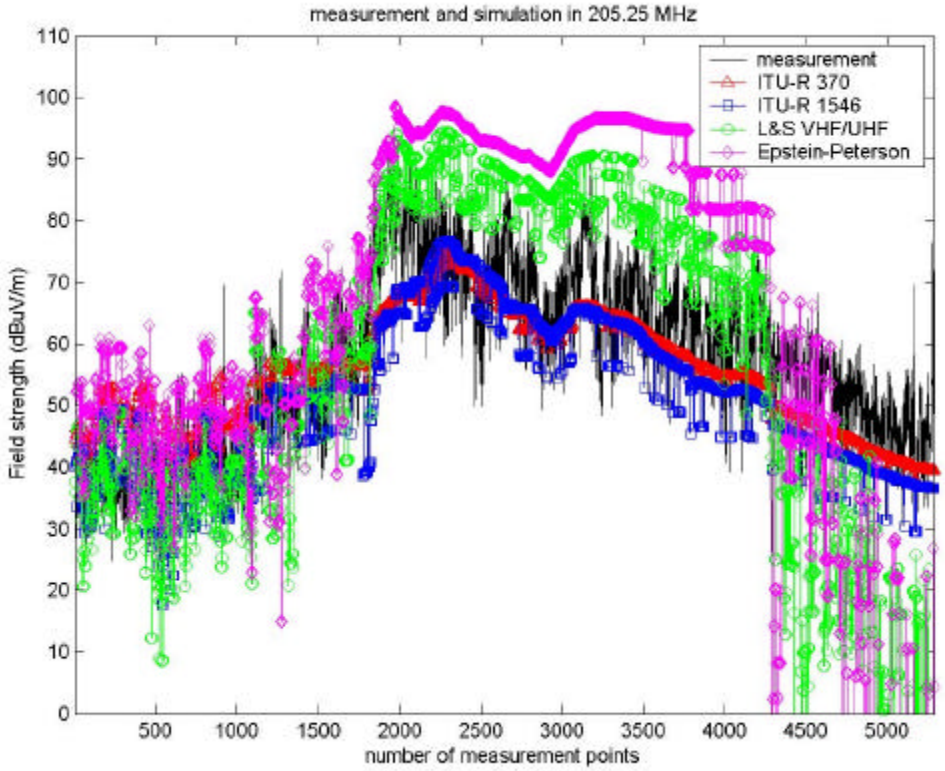


圖 5.54 台視量測與模擬結果

表 5.21 台視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	4.38428	1.21140
量 測 V.S ITU R-370	2.31217	8.37053
量 測 V.S ITU R-1546	6.33990	8.12840
量 測 V.S L&S VHF/UHF	1.94592	20.33738
量 測 V.S Epstein-Peterson	-4.40874	31.24869
ITU R-370 V.S ITU R-1546	4.02772	4.04635
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-0.36625	20.17378
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-6.72091	30.53567
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-4.39397	19.22768
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-10.74864	30.03810
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-6.35466	19.01837

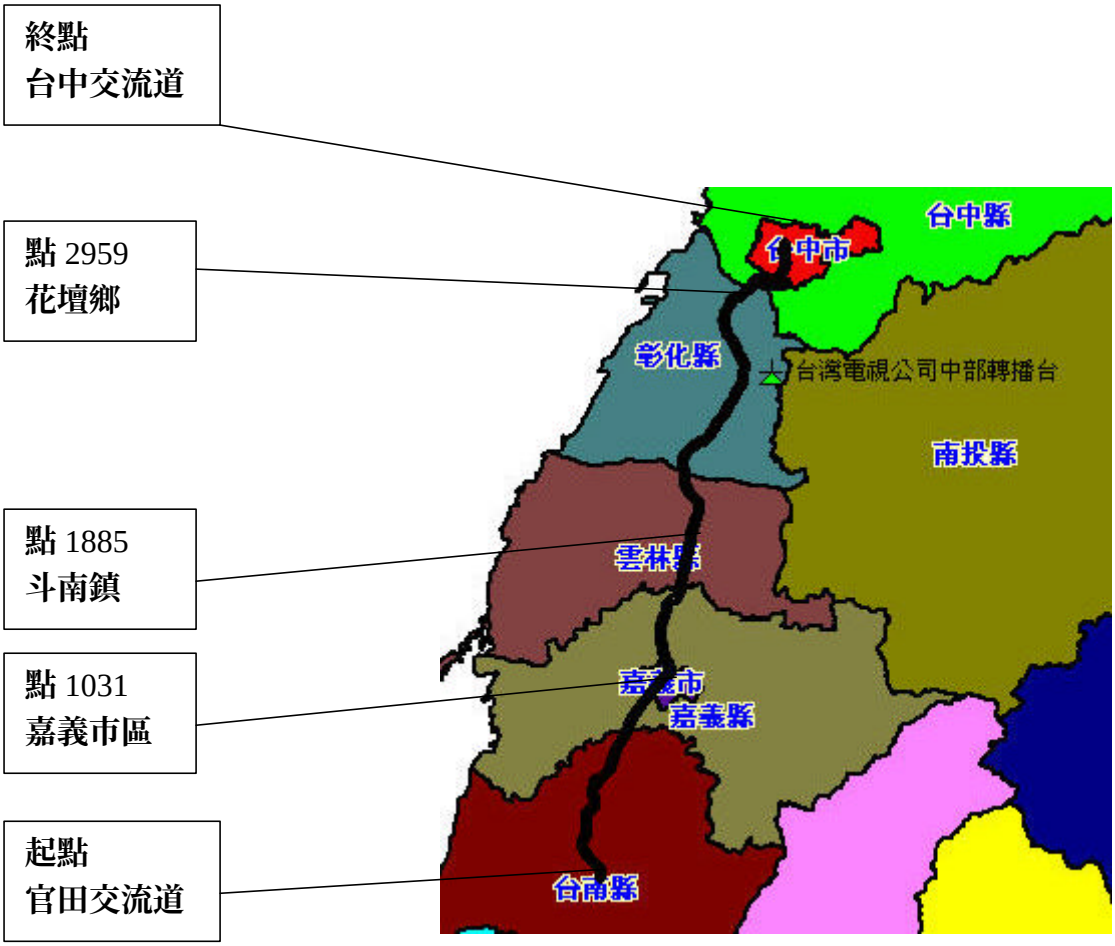


圖 5.55 台南->台中量測路線

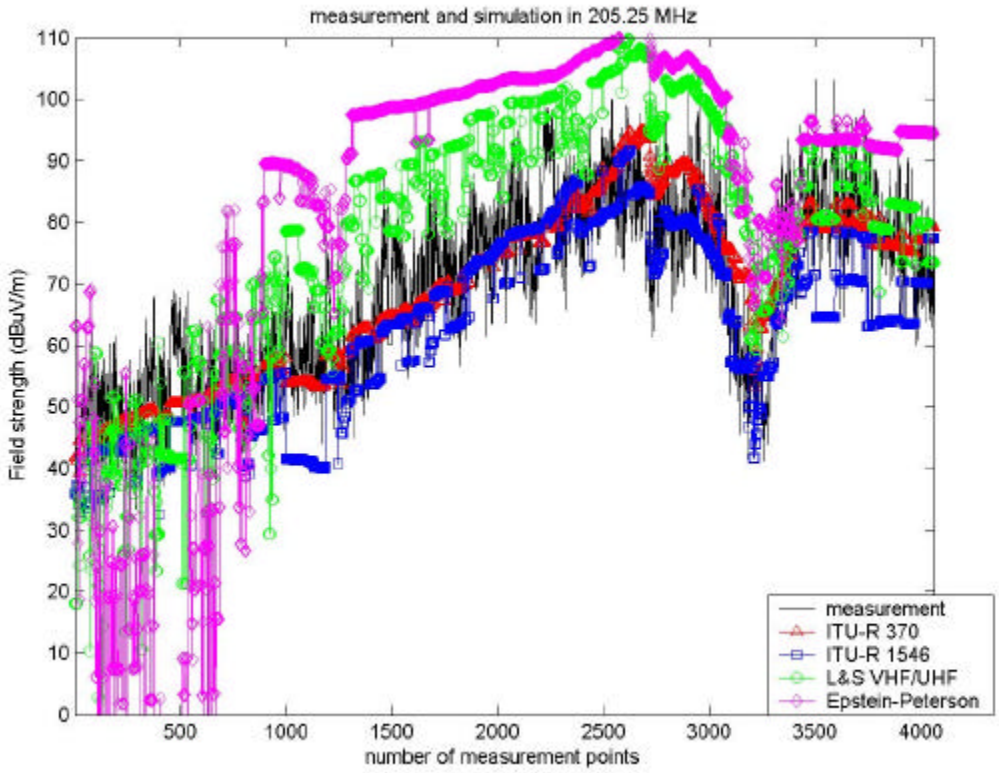


圖 5.56 台視量測與模擬結果

表 5.22 台視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	4.27283	1.41254
量 測 V.S ITU R-370	0.47015	7.87431
量 測 V.S ITU R-1546	6.44598	8.34317
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-8.68656	13.77209
量 測 V.S Epstein-Peterson	-11.34363	27.51182
ITU R-370 V.S ITU R-1546	5.97583	4.42649
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-9.15671	11.19322
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-11.81378	25.75882
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-15.13254	11.92080
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-17.78961	26.24189
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-2.65707	20.03450

5.5.3 南部地區

5.5.3.1 發射台參數以及天線場型

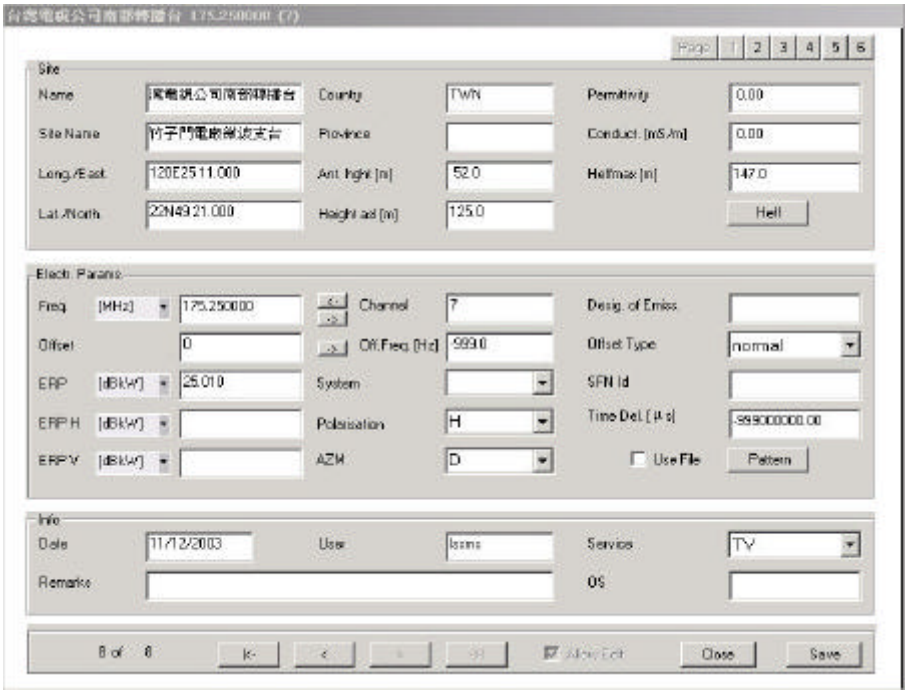


圖 5.57 台視電視台發射機參數

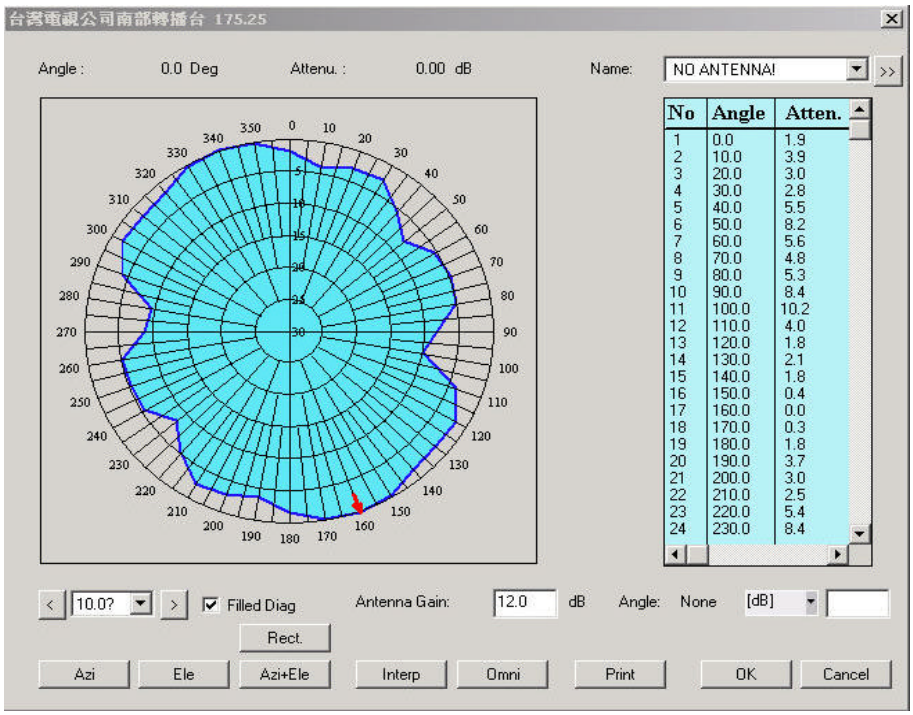


圖 5.58 台視電視台發射天線場型

5.5.3.2 **南部地區電視台量測路線與分析**

圖 5.59 **量測路徑自嘉義縣布袋鄉沿濱海公路至屏東枋寮。**

圖 5.61 **量測路徑自屏東新埤鄉沿台** 1 **線進高雄市再接台** 3 **線至台南縣經台** 84 **線轉台** 1 **線至嘉義縣西口鄉。發射站為台視**(175.25 MHz**，位於高雄中寮)可發現** ITU-R 370**、**ITU-R 1546 **及** L&S VHF/UHF **傳播模式之場強分佈趨勢與量測值大致相符。而其中又以** ITU-R 370 **最為接近。**

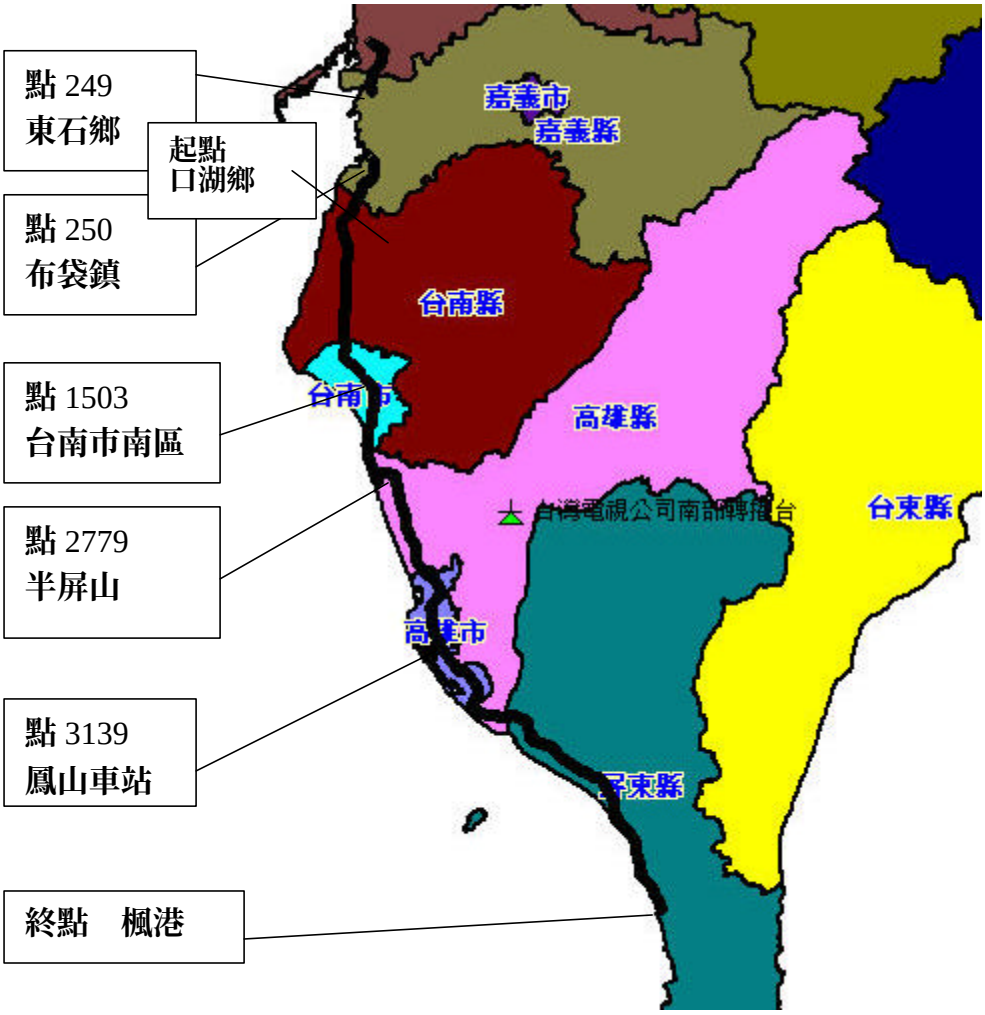


圖 5.59 **苗栗->台南量測路線**

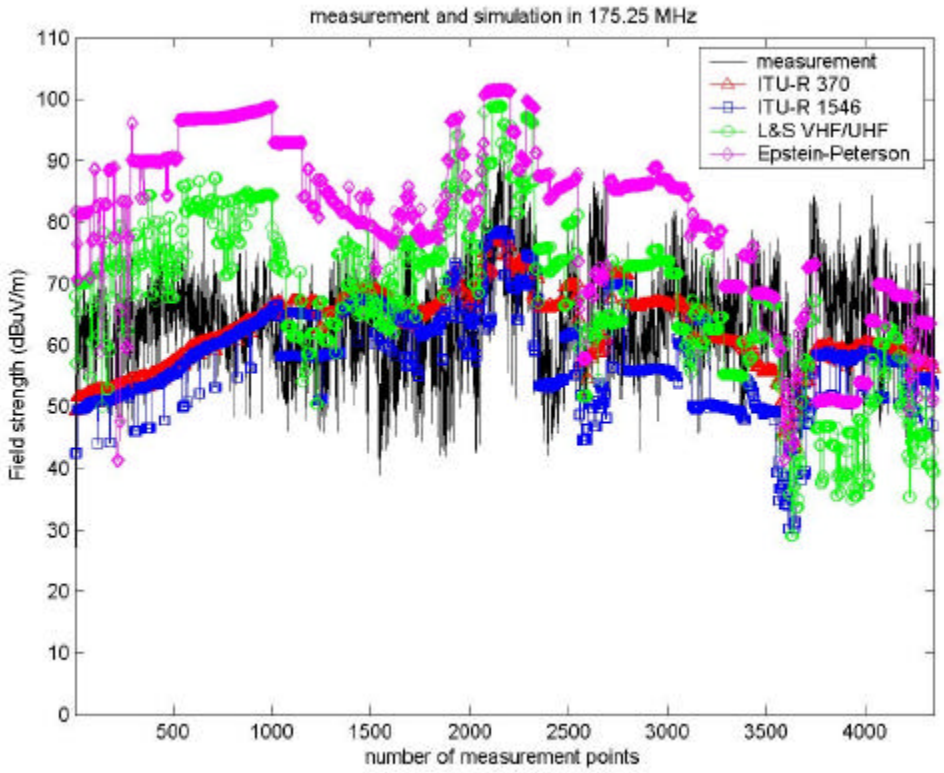


圖 5.60 台視量測與模擬結果

表 5.23 台視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S 量 測(均方根)	4.49410	1.16691
量 測 V.S ITU R-370	1.38637	9.49745
量 測 V.S ITU R-1546	6.16130	10.26899
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-4.09733	14.24790
量 測 V.S Epstein-Peterson	-16.40901	15.42372
ITU R-370 V.S ITU R-1546	4.77493	4.00795
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	-5.48370	11.45187
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-17.79539	11.62847
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-10.25863	11.73692
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-22.57032	11.80048
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-12.31169	7.43610

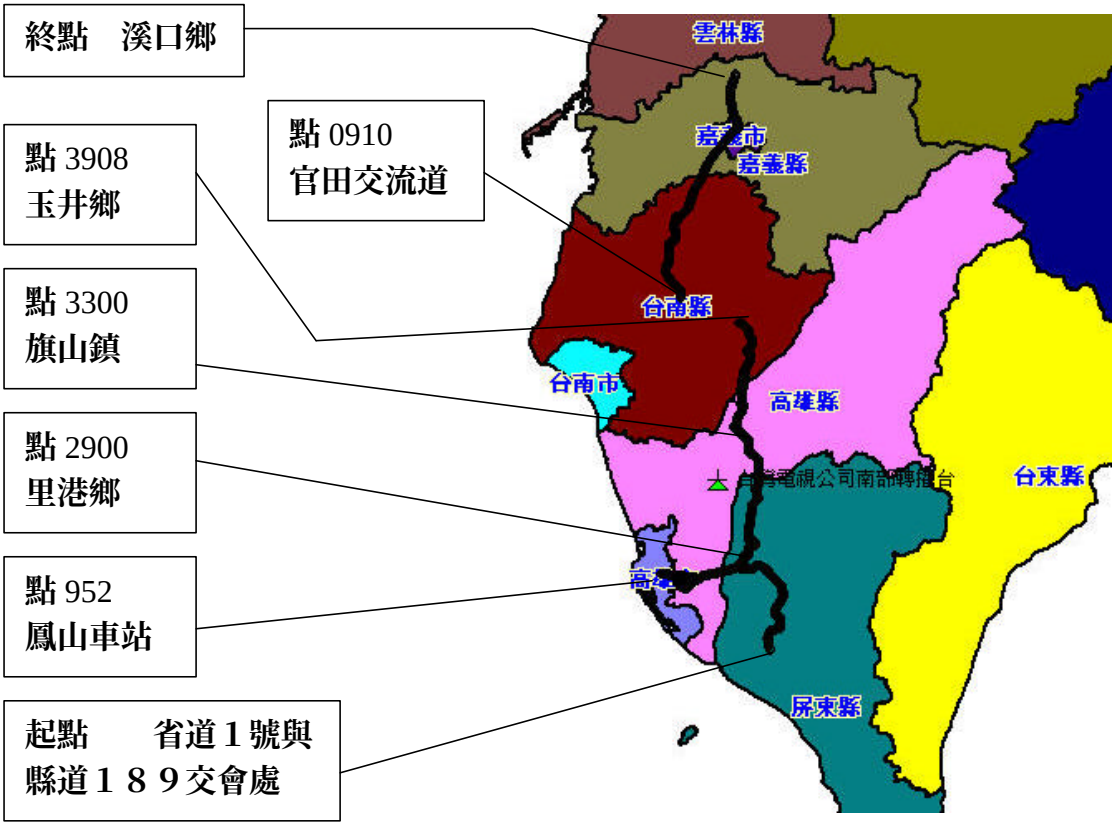


圖 5.61 台南->台中量測路線

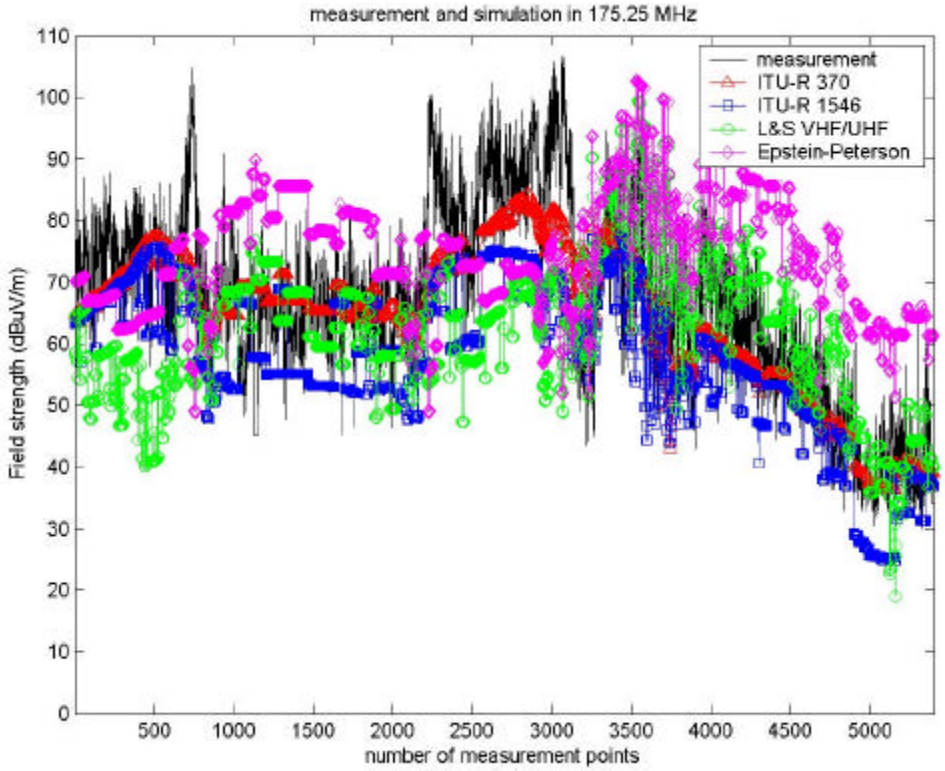


圖 5.62 台視量測與模擬結果

表 5.24 台視量測與傳播模式間之比較

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(**最大值**)V.S **量 測**(**均方根**)	4.03128	1.57833
量 測 V.S ITU R-370	3.08104	8.72199
量 測 V.S ITU R-1546	9.68601	9.45328
量 測 V.S L&S VHF/UHF	5.21272	15.08400
量 測 V.S Epstein-Peterson	-6.97525	17.35999
ITU R-370 V.S ITU R-1546	6.60497	4.57822
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	2.13168	12.43327
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-10.05629	13.96908
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-4.47329	12.68661
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-16.66126	14.00382
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-12.18797	7.01735

5.5.4 **松山機場與基隆地區**

5.5.4.1 **發射台參數以及天線場型**

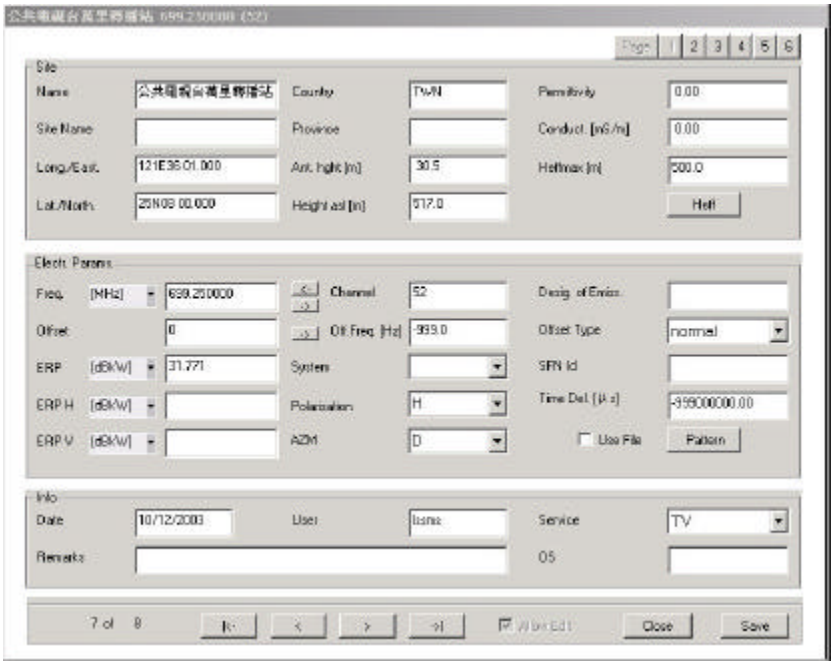


圖 5.63 公視電視台發射機參數

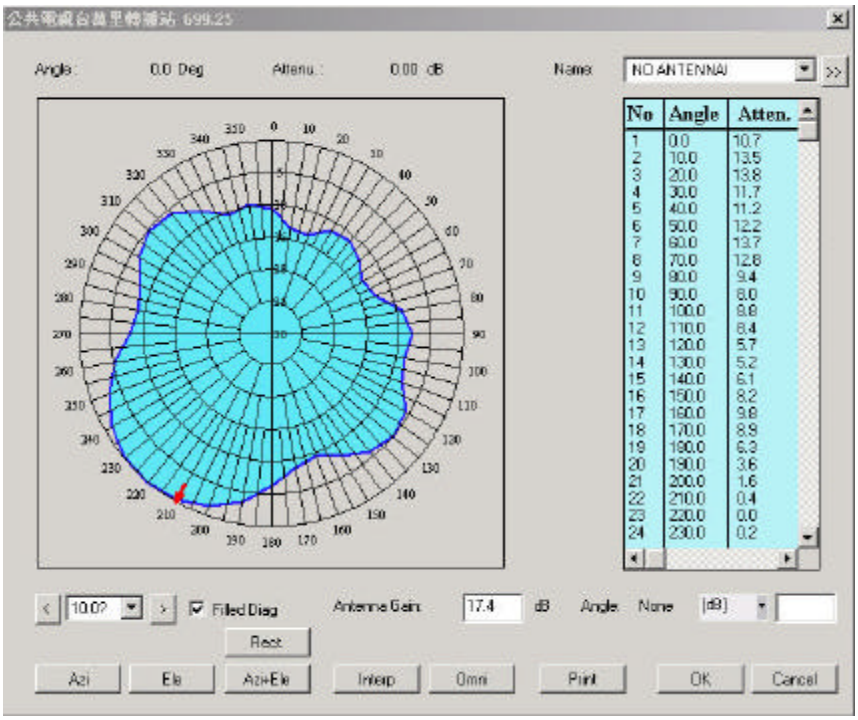


圖 5.64 **公視電視台發射天線場型**

5.5.4.2 **松山機場四周與基隆地區電視台量測路線與分析**

本圖 5.65 **之量測路徑由中山北路轉北安路繞松山機場一周量測，再接高速公路至基隆量測，發射站台為公共電視**(699.25 MHz，**位於五指山**)。**由量測起點至量測點** 700 **所測得之場強約位於松山機場四週，與模擬值比較發現** L&S VHF/UHF **電波傳播模式較符合量測結果**(**表** 5.25(a))。**而在量測點** 750(**約在台北市內湖區**)**之後，則以** Epstein-Peterson **傳播模式較接近量測值**(**表** 5.25(b))。

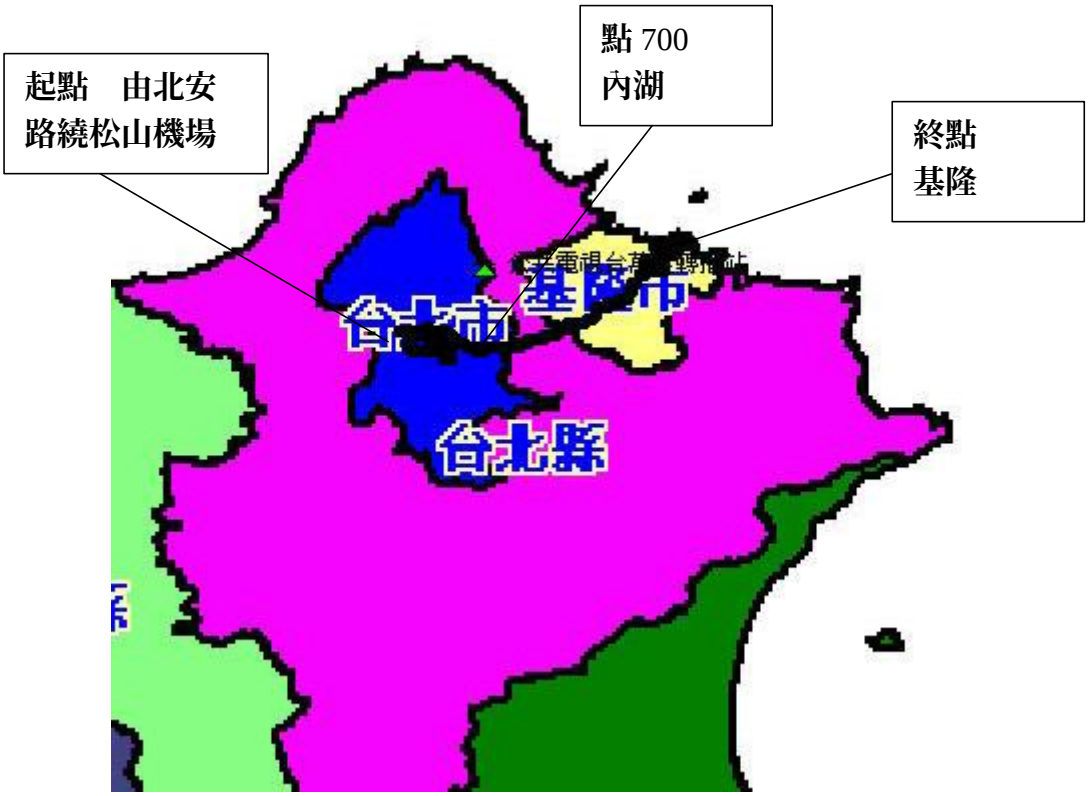


圖 5.65 台北繞松山機場與基隆量測路線

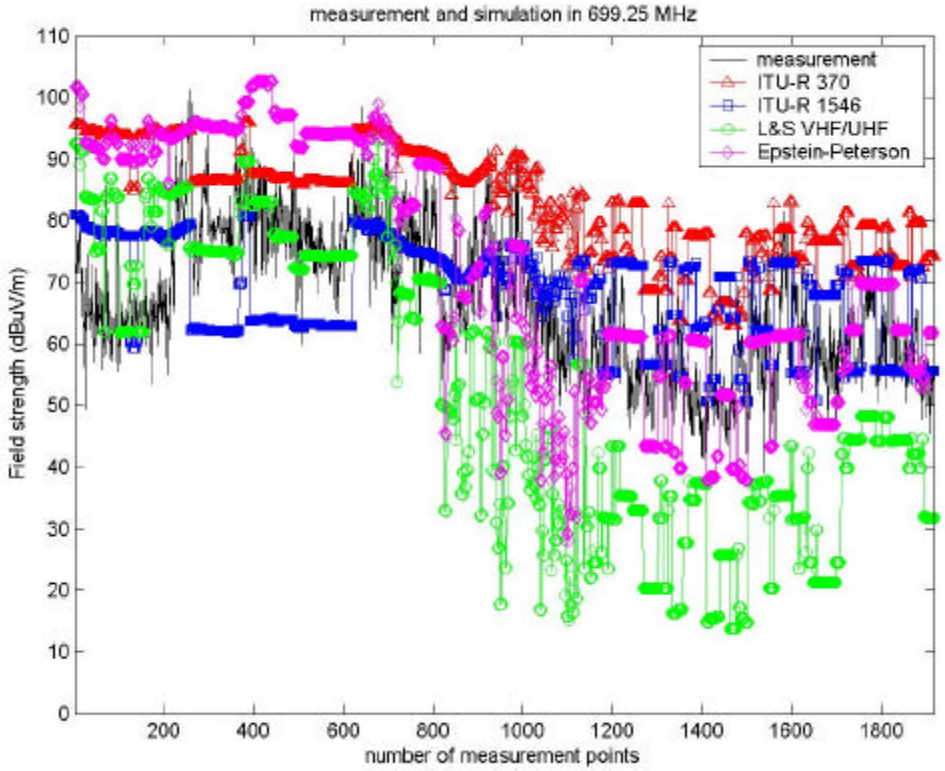


圖 5.66 公視量測與模擬結果

表 5.25(a) **公視量測與傳播模式間之比較**

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.63288	1.38765
量 測 V.S ITU R-370	-15.19546	10.47727
量 測 V.S ITU R-1546	4.50900	13.08832
量 測 V.S L&S VHF/UHF	-2.83414	10.35185
量 測 V.S Epstein-Peterson	-18.71639	8.58906
ITU R-370 V.S ITU R-1546	19.70446	3.86656
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	12.36132	6.51636
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	-3.52093	6.34147
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	-7.34314	8.32993
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	-23.22539	9.82948
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-15.88225	5.90132

表 5.25(b) **公視量測與傳播模式間之比較**

量測與傳播模式間之比較	期望值	標準差
量 測(最大值)V.S **量 測(均方根)**	3.68212	1.31064
量 測 V.S ITU R-370	-16.73265	7.51097
量 測 V.S ITU R-1546	-5.31906	9.50237
量 測 V.S L&S VHF/UHF	24.53608	11.39529
量 測 V.S Epstein-Peterson	3.03771	10.82813
ITU R-370 V.S ITU R-1546	11.41359	6.06275
ITU R-370 V.S L&S VHF/UHF	41.26873	10.42773
ITU R-370 V.S Epstein-Peterson	19.77036	10.06205
ITU R-1546 V.S L&S VHF/UHF	29.85514	12.26095
ITU R-1546 V.S Epstein-Peterson	8.35677	11.53341
L&S VHF/UHF V.S Epstein-Peterson	-21.49837	5.37863

5.6 結論：

經由不同地區的量測結果與各種傳播模式比較的結果，大約可歸納出各發射站比較適用之傳播模型，如下表：

發射站	影響區域		較適用傳播模型
五指山 竹子山	台北盆地及其四周		L&S VHF/UHF
	桃園、新竹、苗栗		ITU-R 1546 (最準) ITU-R 370
火炎山	新竹、苗栗		L&S VHF/UHF
芬園 關子嶺	台中、彰化、雲、嘉、南 （發射站以西為平原地形）		ITU-R 1546 ITU-R 370
中寮	FM 擴播	台南	ITU-R 1546 ITU-R 370
		高高屏	L&S VHF/UHF
	類比電視	雲、嘉、南高高屏	ITU-R 1546 ITU-R 370

第六章　電台共站與頻率使用模式

廣播電台共站的評估與規劃，在上期研究計畫已有詳細的報告。共站的規劃必須先確定電波的服務範圍。現有調頻廣播電台分為大功率、中功率及小功率電台，大功率電台 54 dBm V/m 的服務半徑為 60Km，中功率 54 dBm V/m 的服務半徑為 20Km，小功率 54 dBm V/m 的服務半徑為 10Km。而電台服務區域則是依縣市行政區劃分，但是電波不能溢出縣市範圍的規定並不實際，亦不合理，新聞局已有計畫取消此規定。

共站地點選擇，需考慮下列幾項因素：

1、 為避免對飛航造成干擾，應離開機場及航道。

2、 為避免對電波監測站造成干擾，應遠離電波監測站。

共站台間距的大小會影響共站台的數目，亦影響電台的服務範圍以及全國所能設置電台的總數。台灣的廣播事業發展甚久，適合當發射台的地點，幾乎都已被評估過。目前的電視發射站及大功率調頻電台發射站，都是經過精挑細選。因此，未來的共站位置可以從這些站台中來評估選取.

由於過去中小功率電台的服務範圍受縣市行政區的規範，因此 20Km 的服務半徑尚稱合理。然而，縣市溢波的規範既要解除，且要鼓勵現有電台遷入共站台，以及要提升廣播業者的商機，若是可發放的頻道數可滿足需求，擴大電台的服務範圍，將有助於現有業者遷入共站台的意願。

6.1 共站台規劃及其電波涵蓋模擬

依據台灣地形，以及參考現有廣播電台的位置分佈，我們在台灣西部規劃了八個共站台，其位置如下：

1、 五指山：已經選定為共站台

2、 鳶山：目前亞洲電台的發射站

3、 新竹老湖口：目前中央廣播電台中繼站

4、 火焰山

5、 彰化芬園

6、 台南枕頭山

7、 高雄中寮

8、 屏東潮州

除潮州之外，其他各個規劃地點都是屬於制高點，因此電波涵蓋範圍可以較廣，也可以利用共站位置的地形高度，減少共站鐵塔所需的高度。

共站位置及使用頻率的規劃必須滿足 FM 廣播的傳輸干擾比。美國 FCC 對於 FM 廣播的傳輸干擾保護比要求如下表所示：

	新電台	既設電台
同頻	40 dB*m* V/m	60 dB*m* V/m
第一鄰頻	54 dB*m* V/m	60 dB*m* V/m
第二鄰頻	80 dB*m* V/m	60 dB*m* V/m
第三鄰頻	100 dB*m* V/m	60 dB*m* V/m
中頻	120 dB*m* V/m	60 dB*m* V/m

上表表示，在既有電台場強 60 dB*m* V/m 的邊緣處，其他同頻電台場強不能超過 40 dB*m* V/m，第一鄰頻電台的場強不得超過 54 dB*m* V/m，第二鄰頻電台的場強不能超過 80 dB*m* V/m。如果共站電台頻率使用的方式如下

1、 同一共站台各電台的頻率間隔至少為 800KHz。

2、 相鄰共站台之各台間的頻率間隔至少為 400KHz。

3、 每隔一個共站台，頻率得重複使用。

關於共站台的頻率使用方式，去年的研究計畫「廣播電台共站評估與規劃」的報告中，我們曾提及，由於共站台各頻道的電波傳播特性約略相

同，因此共站台頻道間隔為 400KHz 時，亦可以滿足干擾保護規範。因此在大都會地區電台需求量較高的共站台如台北市，頻道間隔可以酌減少為 400KHz 以增加電台數，但相鄰共站台的總數仍不得超過 48 台。此次報告中，我們規劃了五指山共站台及鳶山共站台，這兩個共站台都可以涵蓋台北市的大部份地區以及台北縣人口密集的城市，如中永和、板橋、新莊、三重、新店等地區。因此 FM 廣播電台可以平均分配到這兩個共站台，同一共站台各電台的頻率則可以間隔 800KHz，而相鄰共站台之各台間的頻率間隔則至少為 400KHz。

當一個共站台的電台數少於 12 個電台時，可以使用一組共用天線及一組多工器（multiplexer），由於多工器濾波器的隔離特性必須大於 1.2MHz，因此共站台各電台的頻率間隔可設為 1.6MHz。當共站台的電台數多於 12 個電台時，則應使用二組天線及二組多工器，每組天線及多工器之各電台的頻率間隔至少為 1.6MHz，而不同組多工器的電台頻率間隔則至少為 800KHz。

依照上述的頻率使用模式，我們可以就台灣地形圖以及上述所規劃的共站台位置，依據電波傳播模式來進行場強涵蓋範圍模擬預估。模擬時所使用的參數如下：

1、 假設天線場型為全向性。

2、 假設 ERP=5KW。

3、 假設天線高度為 60 公尺。

使用上述的參數，利用 ITU-R370 模式，所得到的各共站台之 54dBm V/m 的場強曲線如圖 6.1(a)、(b)、(c)所示。圖中顯示，五指山站台涵蓋了基隆市、台北市、台北縣及桃園縣（山區除外）。鳶山共站台，可以涵蓋台北市、台北縣的主要都會區。桃園老湖口共站台可以涵蓋新竹市、新竹縣、桃園沿海及苗栗的竹南頭份。火焰山共站台可以涵蓋苗栗縣、台中縣市、彰化縣北部。芬園共站台可以涵蓋台中市、台中縣的大半部、

彰化縣、雲林縣及南投縣西部。枕頭山共站台可以涵蓋雲林縣、嘉義縣市、台南縣市。中寮共站台涵蓋，台南市、台南縣、高雄縣、高雄市及屏東縣北部。潮州共站台因地勢較低，涵蓋範圍較小，因此不是一個適當的共站台。由各共站台的涵蓋範圍亦可發現，有許多人口密集的城市，都有二個共站台所涵蓋。例如台北市的大部份，台北縣的板橋、中永和、新店都在五指山和鳶山的涵蓋範圍，台中市、豐原市在火焰山和芬園共站台的涵蓋範圍。台南市在枕頭山和中寮共站台的涵蓋範圍。由於人口密集的城市，電台的需求量較大，有兩個共站台可以涵蓋，可以把電台分配到兩個共站台。

若考慮同頻干擾，我們畫了本共站台 60dBμ V/m 及同頻他共同站（即中間隔一個共站台） 40dBμ V/m 的等場強曲線，其結果如圖 6.2(a)~(f)所示。如果他站台 40dBμ V/m 的曲線與本站台 60dBμ V/m 有相互重疊，重疊部份表示不能滿足干擾保護比規範。

再考慮第二鄰頻干擾，我們畫了本共站台 60 dBμ V/m 及相鄰共站台 80 dBμ V/m 的等場強曲線。如果這兩曲線有相重疊，重疊部份表示不能滿足第二鄰頻干擾保護比。本共站台 60 dBμ V/m 及相鄰共台 80 dBμ V/m 的等場強曲線亦示於圖 6.2 中。以上的模擬是使用 ITU-R370 模式，如果使用 L&S 模式，其結果則示於圖 6.1(a)　圖 6.3(c)。

上面的模擬，我們使用全向性的天線場型。然而共站台的天線是可以經由精心設計，使其傳播滿足涵蓋範圍以及干擾保護比。例如：如果蓋範圍太廣或場強衰減太慢而產生同頻干擾，我們可以把天線稍微傾斜，使之不會傳播太遠，或是調整天線水平方向的場型，以壓低會產生干擾那個方向的天線增益。

6.2 頻率使用方式

在台灣西部我們共規劃了八個共站台。每一共站台的頻率間隔為 800KHz。扣除保留給學術使用的小功率電台，每一共站台可以分配的頻道

數約為 22~23 個。因此台灣西部共可分配約 180 個中功率電台，這樣的頻道數是否能容納現有的所有電台？是否可以再分配給新設的電台？目前台灣西部各縣市的大、中、小功率電台數量分佈如表 6.1 所示，共有 152 台，其中大功率 36 台，中功率 59 台，小功率 57 台。共站台將全數為中功率電台，由於共站台多位於制高點，其 54 dBm V/m 的涵範圍，除了山區地形的天然限制以外，可達 25Km 以上，中南部的共站台甚至可達 40 公里，服務範圍大於現有中功率電台的涵蓋範圍。現有大功率電台，每一電台的涵蓋區域較廣。若全數改成中功率共站電台時，在大功率電台原有涵蓋區的每一共站台，應該要保留頻率給原有的大功率電台，如此才不損害其原有的權益。現有的中功率電台皆要保留頻率（頻率或許需要調整）鼓勵其進入共站台。至於小功率電台，由於電台數眾多，資本額太小，不可能，也不應該無條件全升等為中功率電台。若是要再開放新電台申請，則必須能夠收回已發放的頻率。鼓勵小功率電台合併，使之提高資本額，成為中功率電台並遷入共站台，同時繳回多餘頻率，應是合理可行的辦法，如果小功率電台不願意整併，則保留其頻率（但頻率可能需調整），所佔用之頻率，共站台不再使用。因為小功率電台涵蓋範圍較小，所使用的頻率可以視情況，在同一共站或相鄰共站台或在收視不良地區重複使用。

共站之後，頻率使手的方式總結如下：

1.大功率電台皆遷入共站台，並降低發射功率成為中功率電台，在大功率電台原涵蓋區的共站台皆保留頻率給原大功率電台。

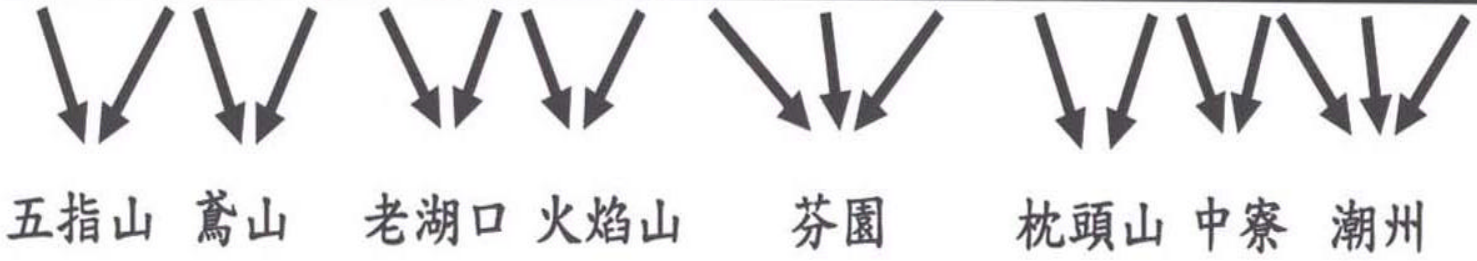
2.現有中功率電台皆保留頻率，並遷入共站台。

3.願意整併的小功率電台可成為新的中功率電台，並遷入共站台。

4.共站台不使用不願意整併之小功率電台所使用的頻率。小功率電台所使用的頻率可以視情況在收訊不良地區或相鄰共站區重複使用。

表 6.1
西部地區現有電台（不包含學術電台）

	基隆	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	南投	彰化	雲林	嘉義	台南	高雄	屏東	恆春	合計
小功率	1	7	4	4	6	6	2	2	4	3	9	3	6	0	57
中功率	4	8	5	2	3	5	4	4	1	6	8	6	1	2	59
大功率		9			8	1		5		3	1	9			36
合　計	5	24	9	6	17	12	6	11	5	13	18	18	7	2	153



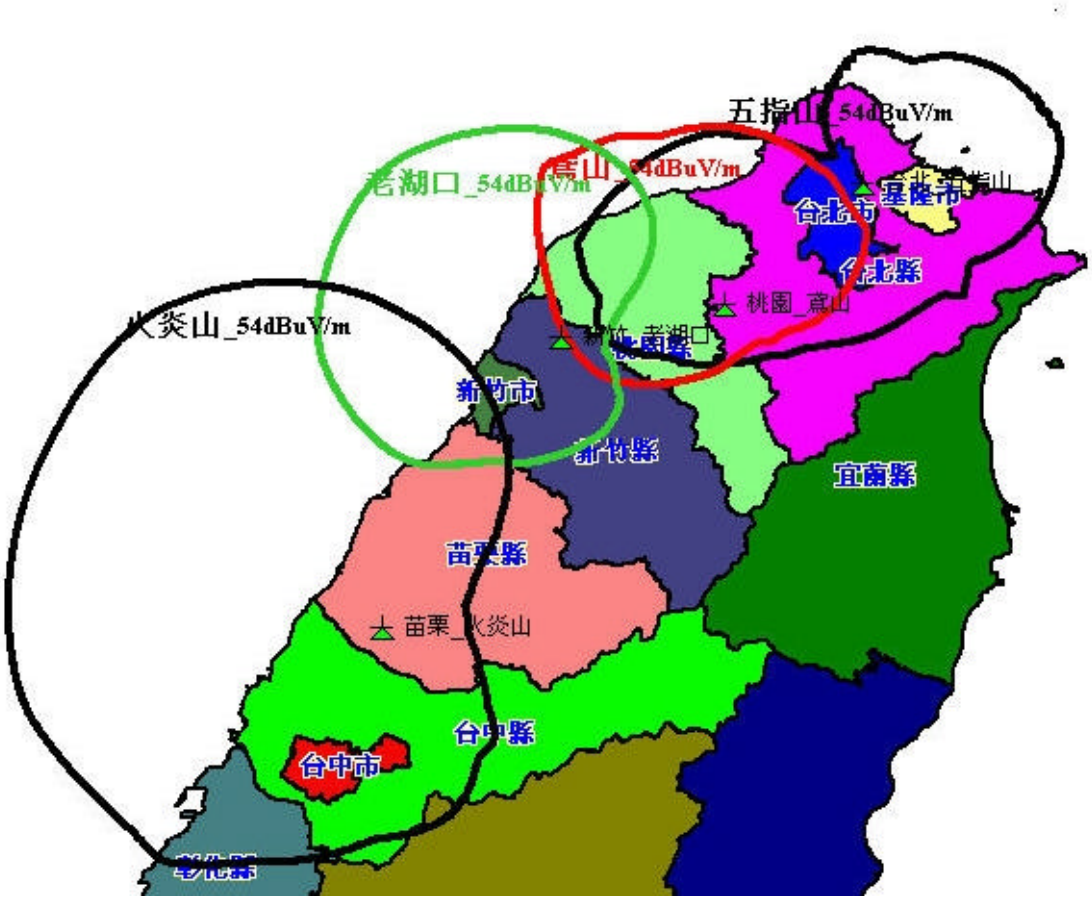

五指山_54dBuV/m
老湖口_54dBuV/m
台北市
基隆市
台北縣
桃園_鳶山
火炎山_54dBuV/m
新竹市
新竹縣
宜蘭縣
苗栗縣
苗栗_火炎山
台中縣
台中市

圖 6.1(a)

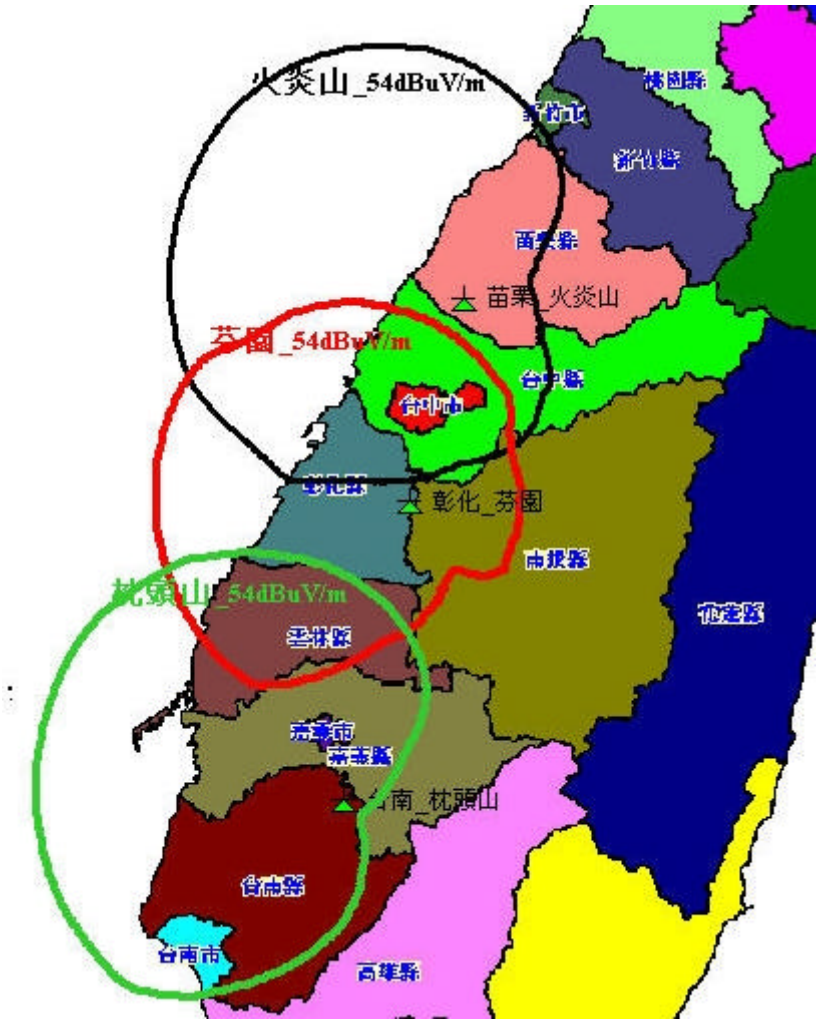


圖 6.1(b)

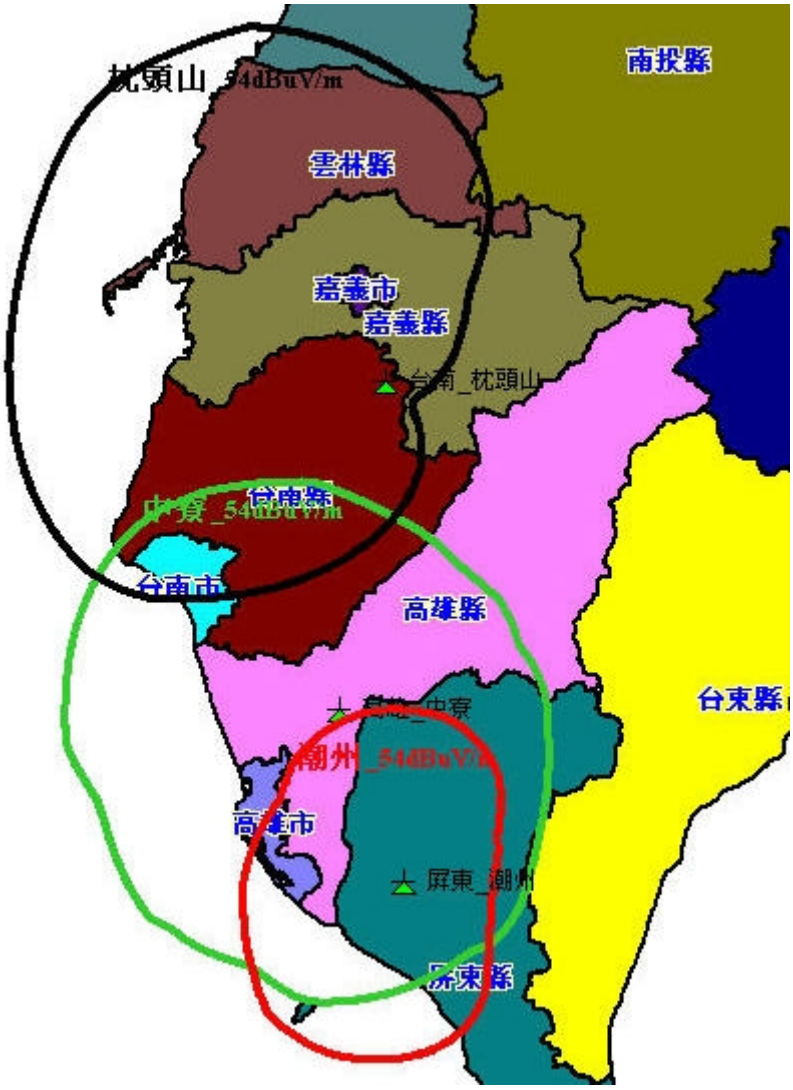

枕頭山_54dBuV/m
南投縣
雲林縣
嘉義市
嘉義縣
台南_枕頭山
台南縣
中寮_54dBuV/m
台南市
高雄縣
台東縣
中寮
潮州_54dBuV/m
高雄市
屏東_潮州
屏東縣

圖 6.1(c)

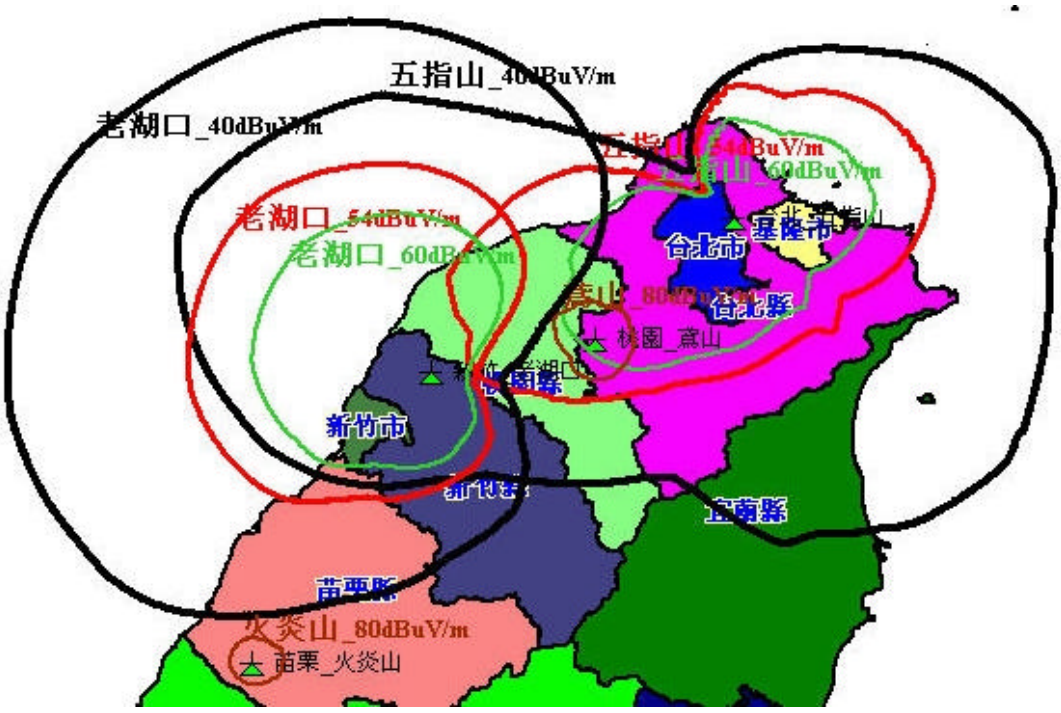

五指山_40dBuV/m
老湖口_40dBuV/m
老湖口_54dBuV/m
老湖口_60dBuV/m
台北市
基隆市
台北縣
桃園_鳶山
新竹市
宜蘭縣
苗栗縣
火炎山_80dBuV/m
苗栗_火炎山

圖 6.2(a)

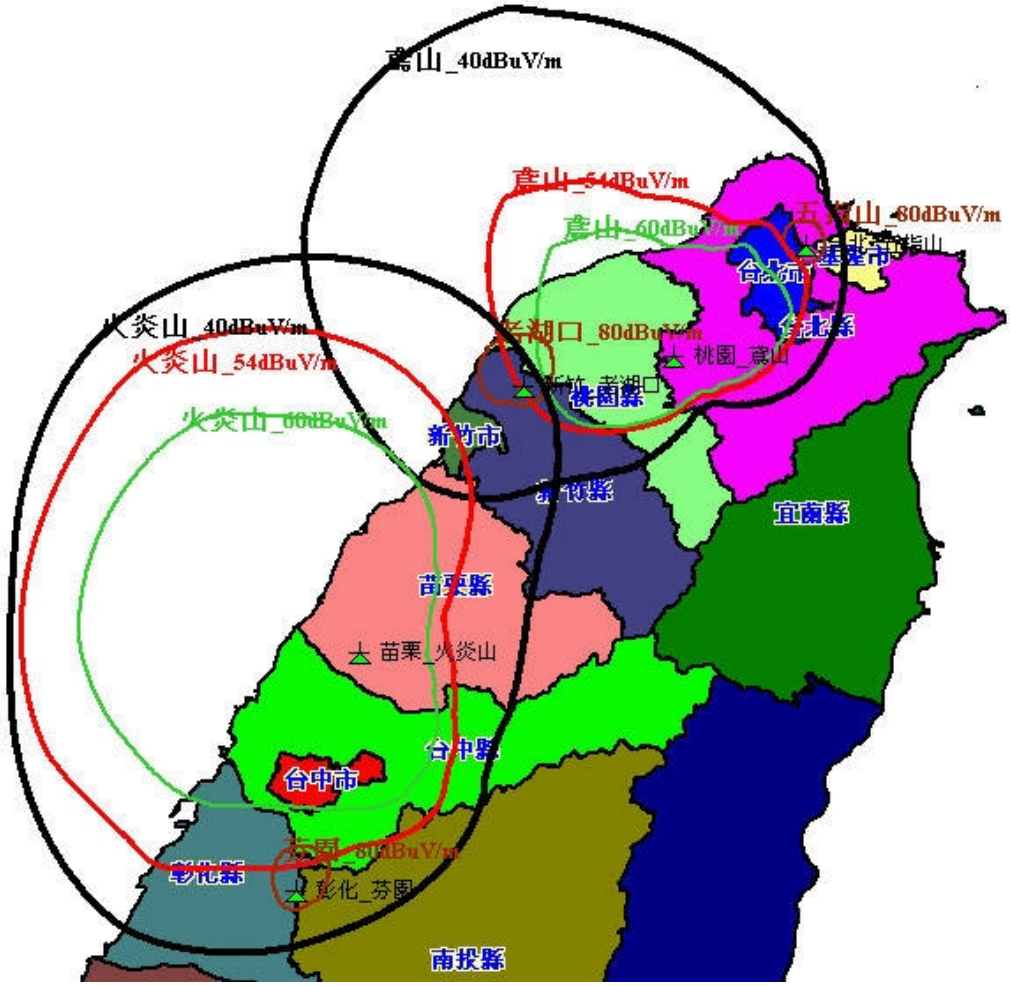

鳶山_40dBuV/m
鳶山_54dBuV/m
鳶山_60dBuV/m
基隆市
台北縣
桃園_鳶山
火炎山_40dBuV/m
火炎山_54dBuV/m
火炎山_60dBuV/m
新竹市
宜蘭縣
苗栗縣
苗栗_火炎山
台中縣
台中市
彰化縣
彰化_芬園
南投縣

圖 6.2(b)

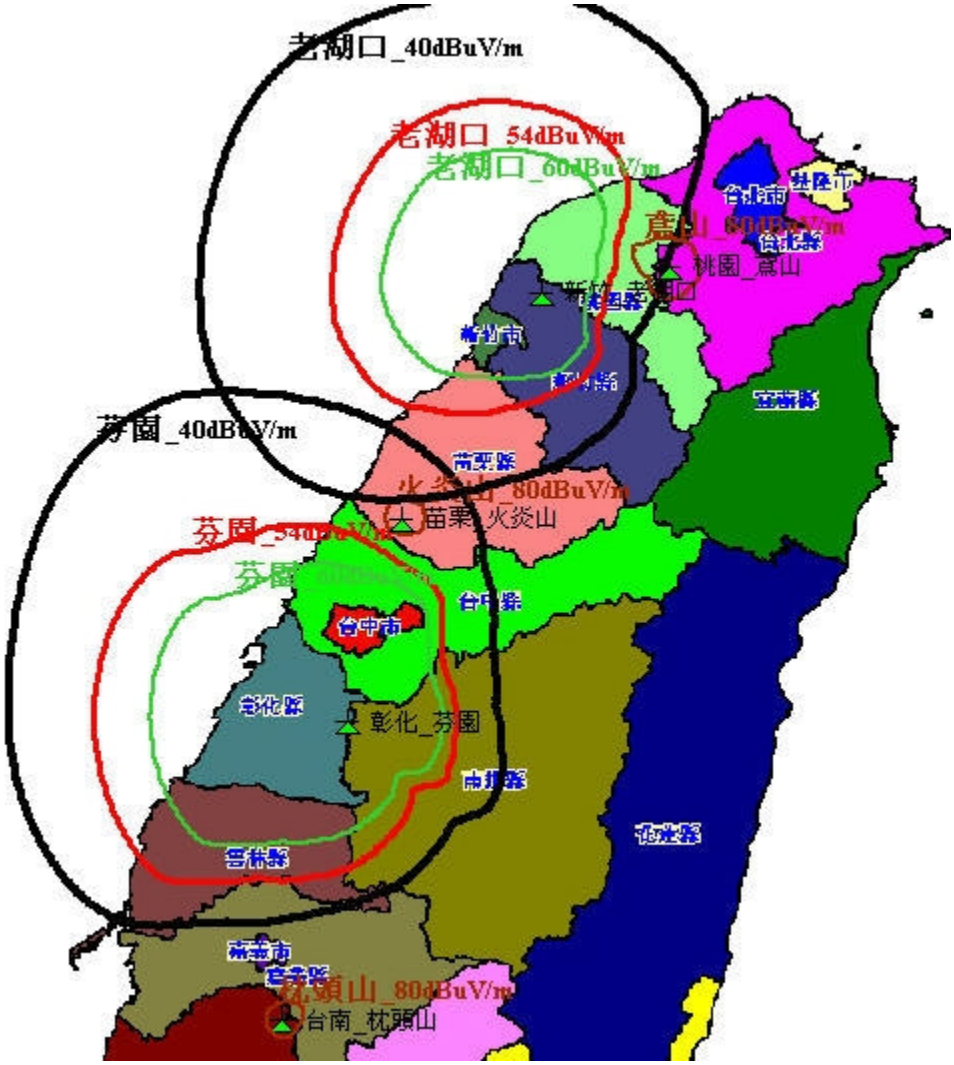

老湖口_40dBuV/m
老湖口_54dBuV/m
老湖口_60dBuV/m
桃園_烏山
苗栗_火炎山
芬園_40dBuV/m
台中市
彰化_芬園
台南_枕頭山

圖 6.2(c)

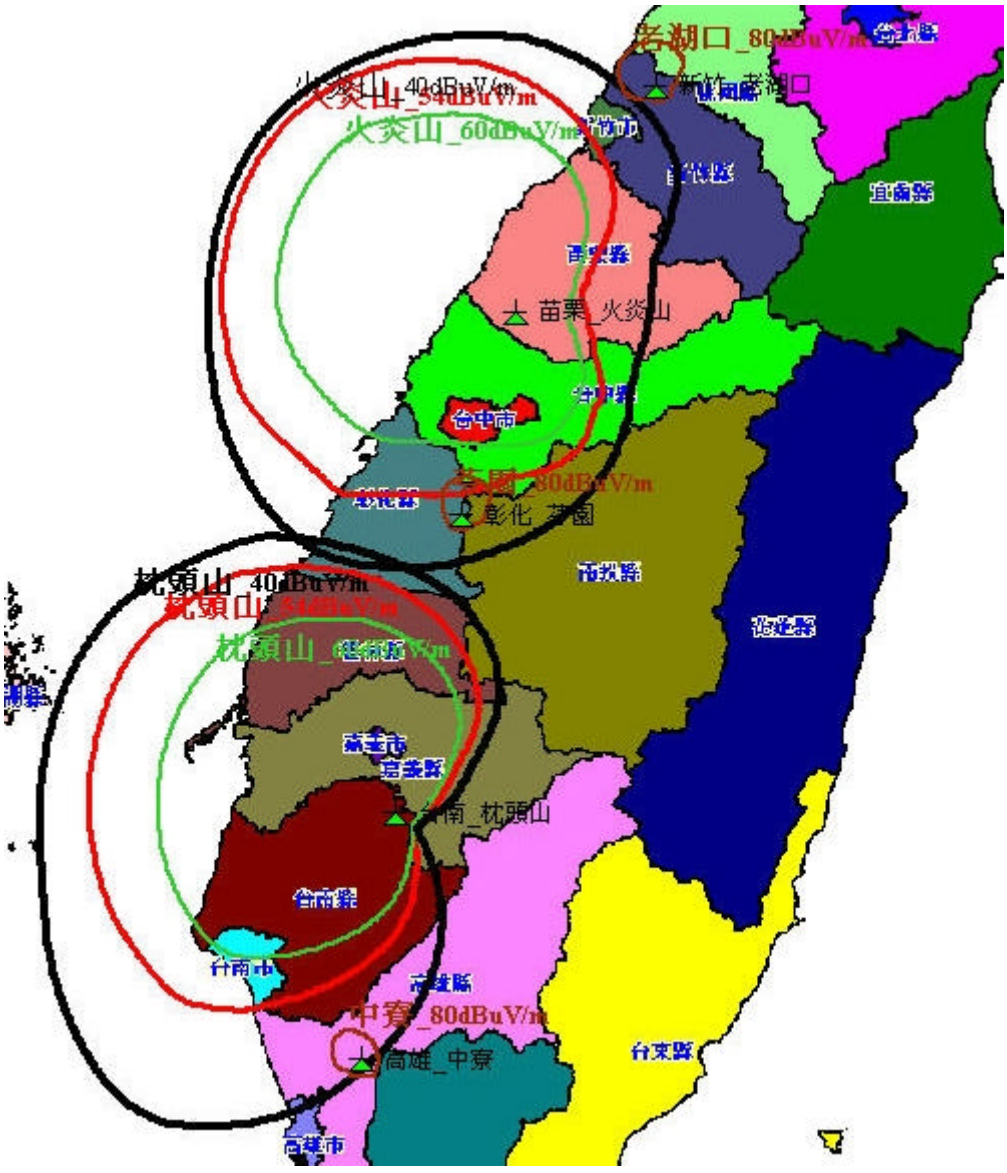

火炎山_40dBuV/m
火炎山_54dBuV/m
火炎山_60dBuV/m
苗栗_火炎山
台中市
彰化_芸園
枕頭山_40dBuV/m
枕頭山_54dBuV/m
枕頭山_60dBuV/m
台南_枕頭山
台南縣
台南市
中寮_80dBuV/m
高雄_中寮
台東縣
宜蘭縣

圖 6.2(d)

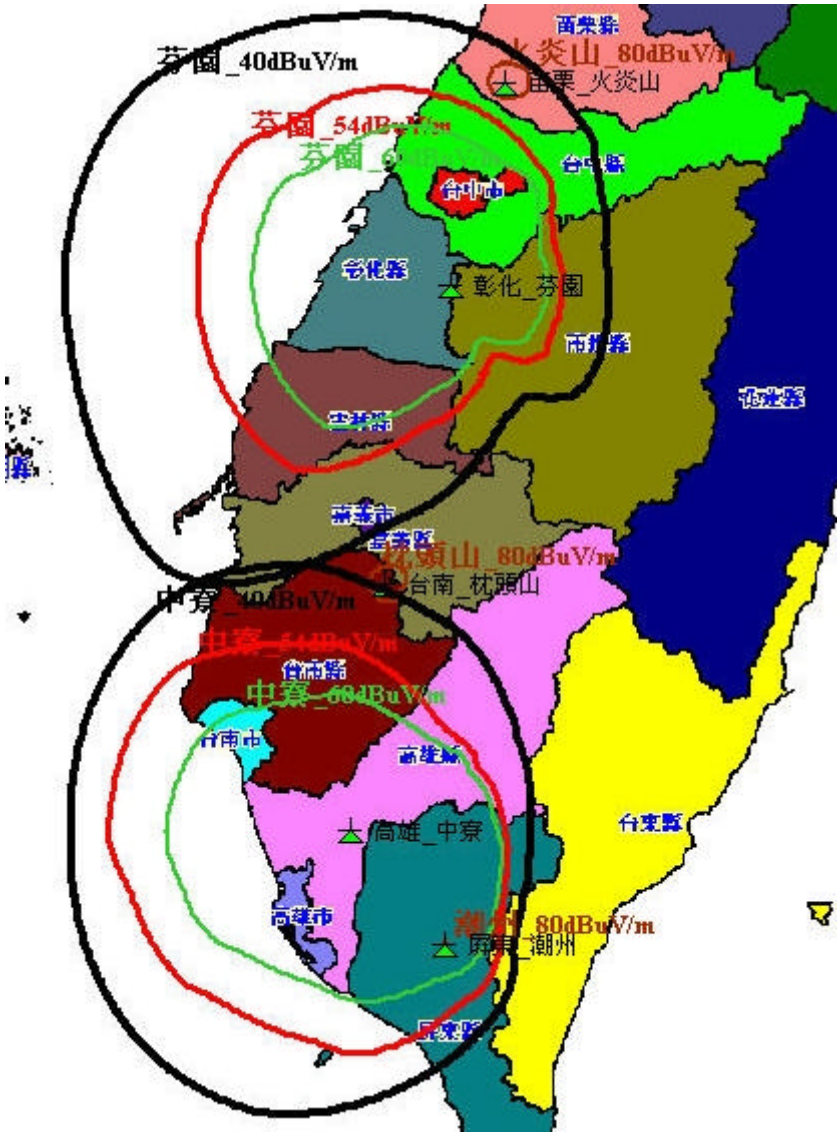

苗栗縣
火炎山_80dBuV/m
苗栗_火炎山
芬園_40dBuV/m
芬園_54dBuV/m
台中縣
彰化縣
彰化_芬園
南投縣
雲林縣
台東縣
台南縣
枕頭山_80dBuV/m
台南_枕頭山
中寮_40dBuV/m
中寮_54dBuV/m
中寮_68dBuV/m
台南市
高雄縣
高雄_中寮
高雄市
屏東縣
潮州_80dBuV/m
屏東_潮州

圖 6.2(e)

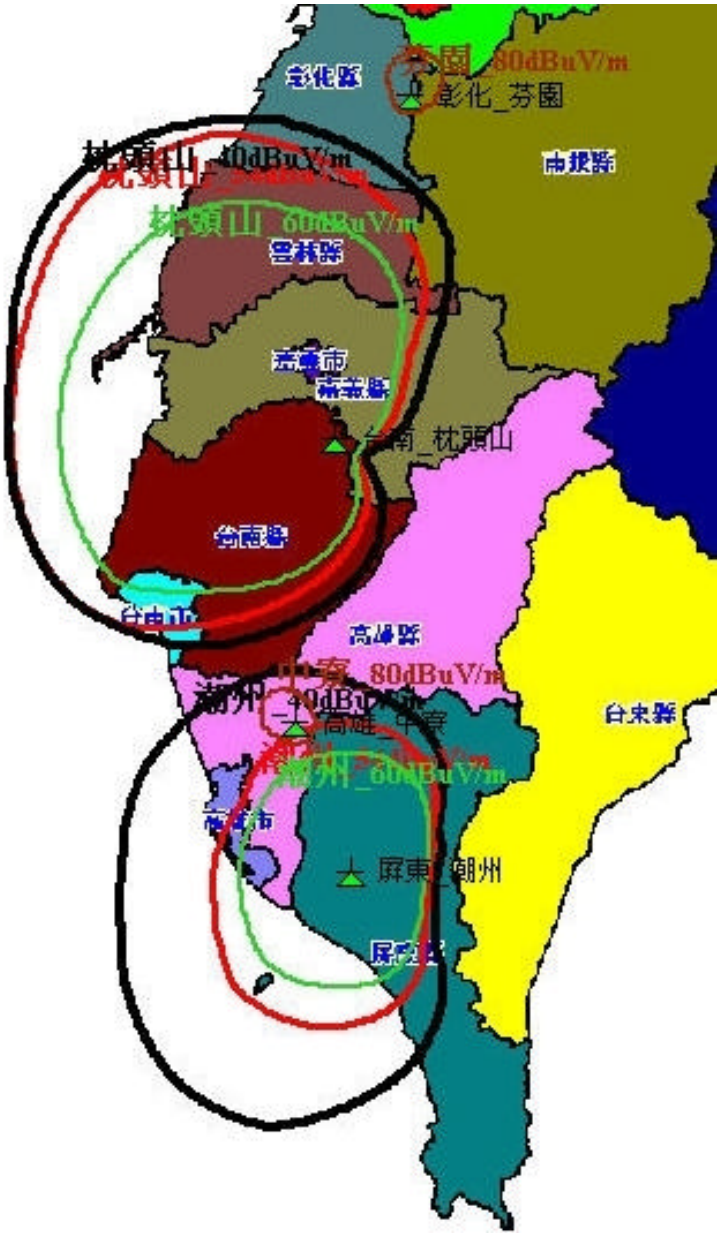

彰化縣
芬園_80dBuV/m
彰化_芬園
南投縣
枕頭山_40dBuV/m
枕頭山_60dBuV/m
雲林縣
嘉義市
嘉義縣
台南_枕頭山
台南縣
台中市
高雄縣
中寮_80dBuV/m
潮州_40dBuV/m
高雄_中寮
潮州_60dBuV/m
台東縣
屏東_潮州
屏東縣

圖 6.2(f)

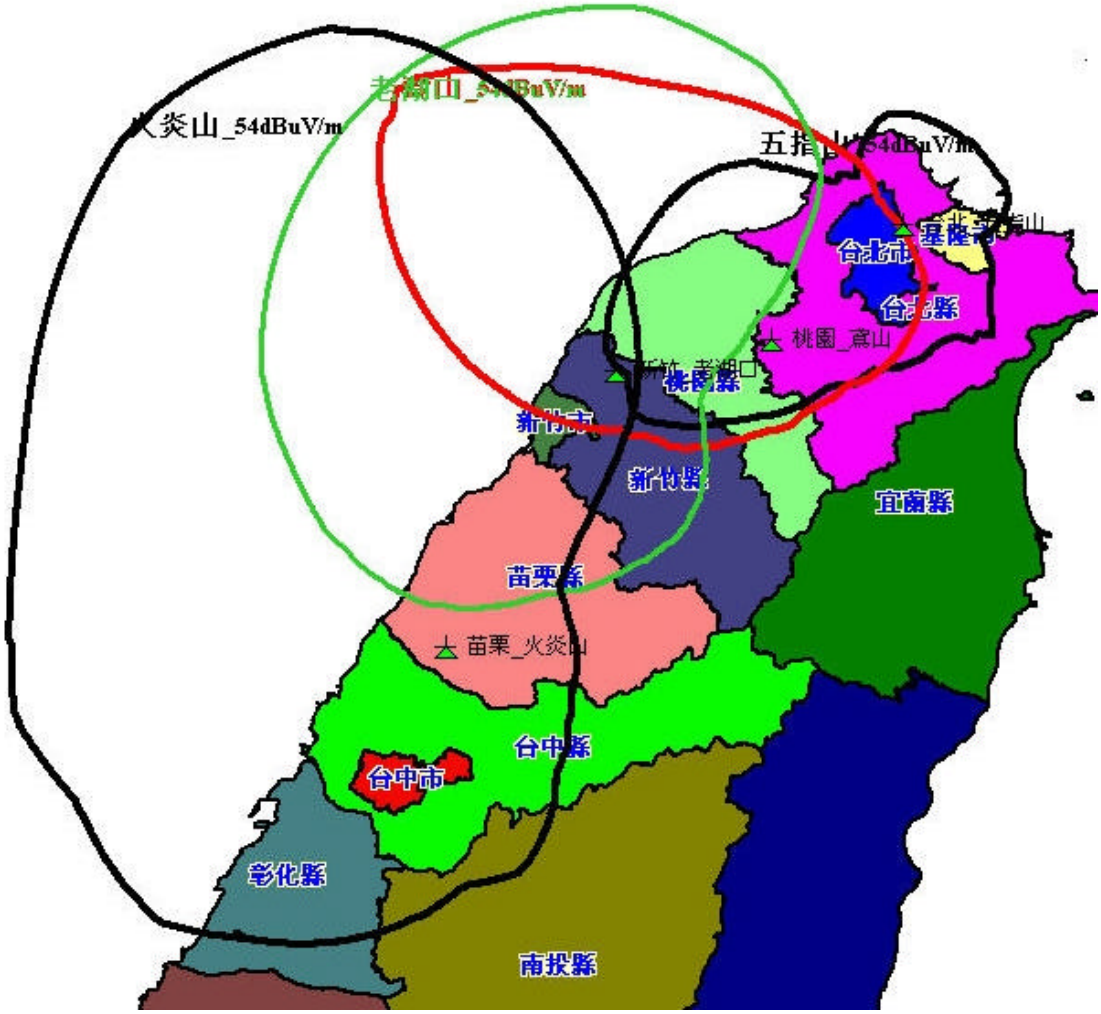

火炎山_54dBuV/m
五指山_54dBuV/m
台北市
桃園_鳶山
桃園縣
新竹市
新竹縣
宜蘭縣
苗栗縣
苗栗_火炎山
台中縣
台中市
彰化縣
南投縣

圖 6.3(a)

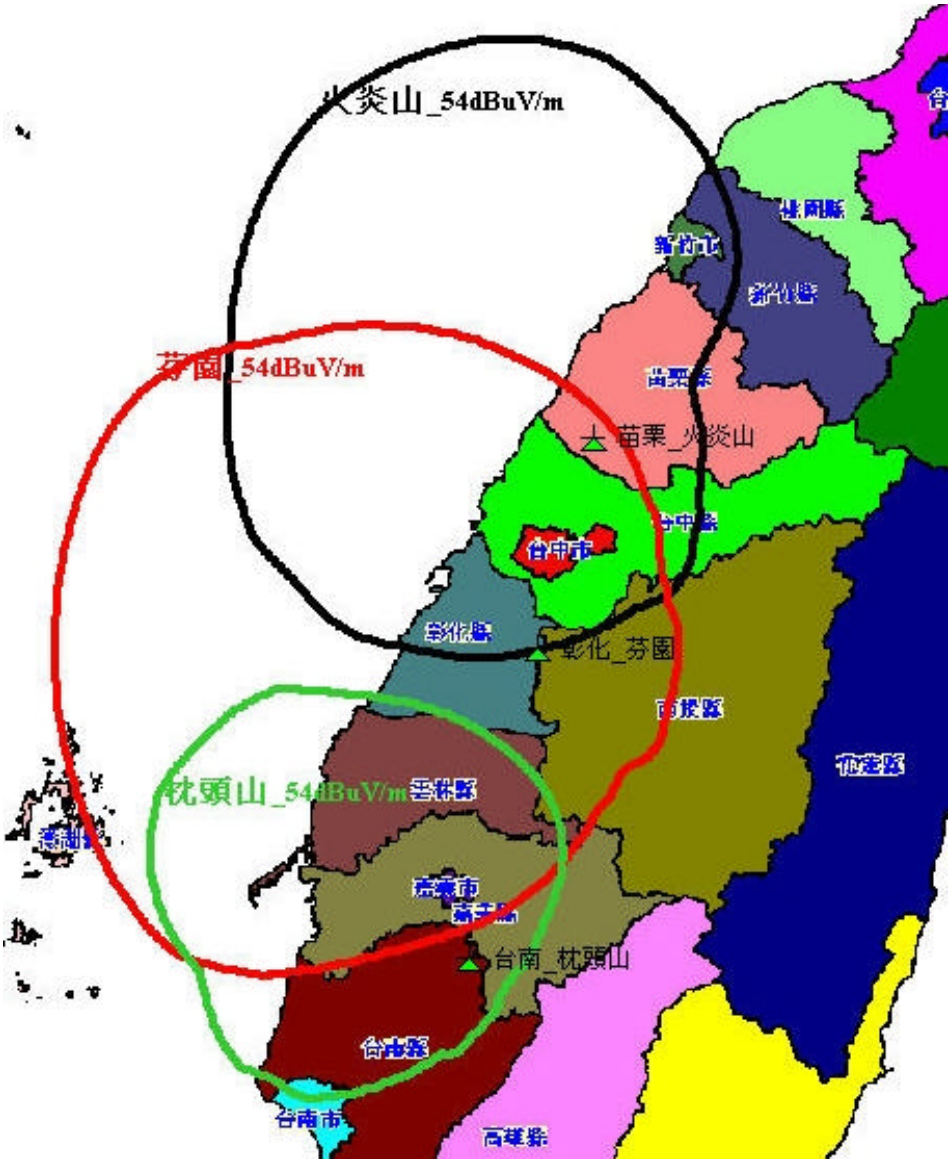


圖 6.3(b)

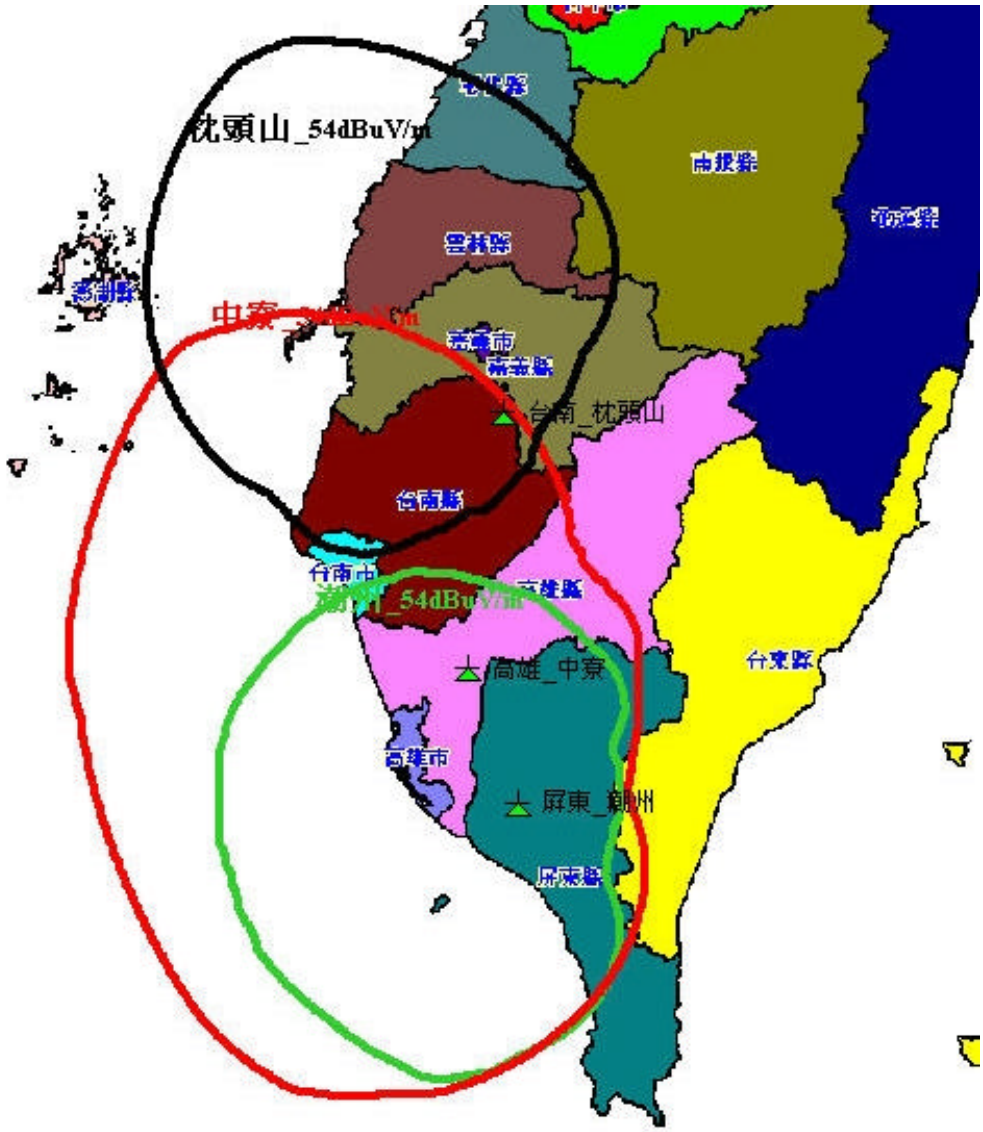


圖 6.3(c)

第七章　結論

本期末報告，第二章簡述了電波傳播模式，包含自由空間傳播模式，地平面反射傳播模式，ITU-R 370 模式，ITU-R 1546 模式，Okumura-Hata 模式，Deygout 模式，Epstein-Peterson 模式，以及 L&S VHF/UHF 模式。除了 Deygout 模式外，其他模式的軟體程式都含在電信總局所擁有的電波傳播預測軟體程式內。第三章簡述了本計畫的量測系統，校正方法以及量測步驟。本計畫考慮了發射信號不同極化的特性，以及天線場型的影響。我們建立了兩套的場強量測系統。第一套系統使用相互垂直的三套天線，包含兩套水平極化的雙偶極天線及垂直極化的單偶極天線，並由三部接收機來量測，以接收不同極化的電波。第二套系統使用自行設計的四隻天線，其中兩隻天線為水平極化的寬頻 flat-plane bow-tie 天線型式，另兩隻為垂直極化的 flat-plane bow-tie 型式的單偶極天線，這四隻天線利用切換開關接到一部場強儀。每一量測位置同時量四隻天線的輸出值。這兩種量測系統主要目的是可以同時量測垂直極化（如 FM 電台）及水平極化（類比電視）的電波，以及可以克服水平極化偶極接收天線 8 字場型的問題。這種量測方式在國內應是創舉。第四章則討論了共站台所引發的互調變問題。我們在大功率電台林立的竹子山進行互調變量測，並探討天線極化，天線長度，以及與發射站台距離及地形對互調變的影響。我們並提出互調變對飛安影響之評估的作業程序，如何從共站台的電台數，發射功率，傳播損失，以及接收機的接收天線及濾波器特性來評估互調變對飛航接收機的影響。第五章則比較電波傳播模擬軟體預測結果與量測結果。我們在台灣東部，沿著宜蘭、花蓮、台東的主要公路以及沿著台灣西部的濱海公路及主要省道，量測 FM 電台，VHF，以及 UHF 電視電台信號的場強，並與不同電波傳播模式預測結果比較。結果顯示，不同傳播模式預測結果，其間有極大的差異，例如 ITU-R 模式與 Epstein-Peterson 模式的預測結果，平均誤差可能在 20dB 以上。而量測結果則在兩種模式預測值之間。我們

亦根據量測結果，提出那種預測模式比較適合那一個共站台。第六章我們提出了台灣西部共站台的規畫頻率使用方式。我們共規畫了八個共站台位置，分別是五指山、鳶山、老湖口、火焰山、芬園、枕頭山、中寮及潮州。除潮州外，各共站台的地點都是在制高點，54dBμV/m 的電波涵蓋範圍大於現有中功率電台 20Km 半徑的範圍。電波涵蓋範圍的擴大可以增加電台營運的商機，也可以鼓勵現有電台遷入共站台，此外，我們亦提出了電台共站的頻率使用方式。

本計畫的主要結論及建議如下：

1.共站台之互調變對飛安的影響，只有五指山共站台對松山機場及飛機航道的影響需要考慮。單一電台頻率在航道位置的接收場強若是在 100dBμV/m 以上，互調變將會影響到飛航接收機，在 90dBμV/m 以下則影響甚微。

2.不同的電波傳播模式有其不同的適用範圍。ITU-R 模式較適合於平原區，而繞射模式則較適合於山區。繞射模式配合地平面反射模式則應可以適合山區及平原區。

3.對於台灣西部的共站台，頻率使用方式，以及對現有大、中、小功率及未來小功率電台申請的建議如下：

a.西部地區設立八個共站台，共站台置儘量於制高點。

b.進入共站台的電台皆為中功率電台，共站台置於制高點時，54dBμV/m 的涵蓋半徑不限於 20 Km，甚至可達 35Km。

c.鼓勵小功率整併成中功率電台並遷入共站台，繳回多餘之頻率。

d.為能儘量重複使用小功率電台的頻率，應嚴格限制小功率電波涵蓋範圍。除限制發射機功率外，亦應限制 EIRP 以及天線高度。

e.嚴格取締無照電台，維護電波的空中秩序。

參 考 文 獻

1、Lebherz, M. W. Wiesbeck and W. Krank, “A versatile Wave Propagation Model for the VHF/UHF Range Considering Three-Dimensional Terrain”, ***IEEE Transcations on Antennas and Propagation***, Vol. 40, No. 10, PP.1121-1131, OCT, 1992.

2、Okumura, T., Ohmori, E., and Fukuda, K., “Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service”, ***Review Electrical Communication Laboratory***, Vol. 16, No. 90-10, PP. 825-873, September-October 1968.

3、Hata, Masaharu, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, ***IEEE Transcations on Vehicular Technology***, Vol. VT-29, No. 3, PP. 317-325, August, 1980.

4、J. Deygout, “Multiple Knife edge diffraction of microwave”, ***IEEE Trans. on Antennas Propagation***, Vol. AP-14, No 4, PP. 480-489, July 1966.

5、Theodore S. Rappaport, “***Wireless communications***”, Prentice Hall 1996.

6、CCIR, 1982-1986c

7、“**台灣地區** TV-band (VHF-UHF)**之電波傳播模式**”，**交通部電信研究所期末報告，民國** 84 **年** 7 **月**

8、**彭聖華“市區調頻廣播頻段之電波傳播模式”，國立台灣大學電機系，碩士論文，**1996

9、**李學智等“廣播電台共站評估與規劃”，交通部電信總局研究報告，** 91 **年** 12 **月**