

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

(裝訂線)

## 輸變電設施環境影響評估技術研習

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：一般工程監

姓 名：林景庸

出國地區：美國

出國日期：九十年六月二十五日

報告日期：九十年九月十四日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：輸變電設施環境影響評估技術實習

頁數 19 含附件： 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司人事處/陳德隆

/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林景庸/台灣電力公司/環境保護處/一般工程監/(02)2366-7208

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：九十年六月二十五日至九十年七月十日 出國地區：美國

報告日期：九十年九月十四日

分類號/目

關鍵詞：ANSI/IEEE：美國國家標準；carcinogenesis：致癌性；

reproductive and teratologic effects：生殖與致畸胎影

響；corona effect：電暈效應

內容摘要：(二百至三百字)

本研習依預定行程在美國佛羅里達州 Orlando 參加 Air & Waste Management Association 之年度環保議題研究論文發表會及設備展覽(A&WMA 94th ANNUAL CONFERENCE & EXHIBITION)，展覽會場有廠商展出電磁場量測儀器。美國加州洛杉磯部份，經由 E O Tech 公司安排拜在南加州大學就架空輸電線下電磁場以及住家電環境磁場之量測分析技術、電磁場強之安全標準、電磁場對環境效應進行探討，並蒐

集目前電磁場對生物效應方面的相關研究資料。對生物影響分析，在相同環境下由於生物體體型大小之差異受體實際量測之電磁場強度亦有所差異，未來為取得較佳之生物效應分析資料，跨醫學、心理、環境和人體動力學領域之專家整合研究是必須的，由於此部份研究費用龐大，本公司可密切注意其發展，以掌握充份資訊做必要之因應。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

## 目錄

	頁次
壹、國外公務之內容與過程	1
貳、國外公務之心得與感想	2
一、前言	2
二、實習心得及感想	3
參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項	14
肆、對本公司之具體建議	14

壹、國外公務之內容與過程：

- 一、六月二十五日至六月二十六日：路程，台北 紐約 奧蘭多。
- 二、六月二十七日至六月二十八日：研習電磁場量測設備與技術
- 三、六月三十九日：路程，奧蘭多 洛杉磯。
- 四、六月三十日至七月八日：在南加州大學研習電磁場對人體的安全評估技術資料，並蒐集電磁場量測與管制標準及開發單位之設計準則。
- 五、七月九日至七月十日：返程，洛杉磯 台北。

## 貳、國外公務之心得與感想

### 一、前言

電力傳輸系統中，電導體附近空間因電壓所形成之電場，以及通過導體電流所形成的磁場，構成了人類活動中之極低頻電磁場環境；由於電力在現代化生活中扮演不可或缺的角色，隨著電力設施的廣泛設置，一般民眾對電力系統所產生的低頻電磁場問題之關心程度亦與日俱增；其實電磁場是一種非游離且無熱效應之輻射，能量很弱不會破壞生物細胞分子，而根據國外流行病學研究顯示此等頻率之電磁場是與某些特定的生物效應有統計上之相關，例如致癌性（carcinogenesis）生殖與致畸胎影響（reproductive and teratologic effects）等，然因研究設計上之限制，迄今極低頻電磁場曝露與人體健康效應之因果關係，仍無法被明確地證實。整體而言，關於極低頻電磁所產生生物效應的研究以北美及北歐國家探討的最多，而相對地國內在這一方面的研究為數甚少。為對產生電磁場之相關設施仍有所規範，行政院環境保護署參照先進國家所訂定之標準，於九十年一月公告我國「非游離輻射環境建議值」，做為現階段管制電磁場之標準。

為評估輸電線設施對環境影響，本研習就電磁場的量測分析技術、電磁場強之安全標準、電磁場對環境效應進行探討，並蒐集目前電磁場對生物效應方面的相關研究資料。對生物影響分析，在相同環境下由於生物體體型大小之差異受體實際量測之電磁場強度亦有所差異，未來為取得較佳之生物效應分析資料，跨醫學、心理、環境和人體動力學領域之專家整合研究是必須的，由於此部份研究費用龐大，本公司可密切注意其發展，以掌握充份資訊做必要之因應。

## 二、實習心得及感想

### (一) 電場強度分析

1. 在高壓電線下或開關場附近可輕易量測到電場的變化，對架空輸電線下方電場強度量測上，以離地 1 公尺為量測點並將儀器裝設於竿上遠離身體以避免電場受人體之遮蔽效應影響；一般電場的強度與輸電電壓和電線離地面距離有關，而在兩座輸電鐵塔中間，由於電線受重力影響下垂使其較接近地面，因此該處往往出現最大之電場強度（詳附圖一）；另電場強度除沿架空輸電線兩側往外延伸而衰減（其衰減情形如附圖二所示）外，其亦受樹木與房舍阻隔影響。至於同一地點電場強度亦受輸電線之溫度影響，這是由於溫度越高下垂越多所致。

2. 一個站立地上的人，由於受靜電感應所產生回路電流（ $I_{sc}$ ），將由腳踝流過，而回路電流大小和人的身高（ $h$ ）平方成正比，根據實驗測試結果，其電流如下：

$$I_{sc} = 5.4 \times 10^{-9} \times h^2 \times E \times (f/60)$$

$f$ ：電場頻率

電場所感應的回路電流大小在身體分佈情形如附圖三。

### 3. 電場量測

(1) 電場電量測報告中須記錄背景環境資料如輸電線的電壓、電流、電線形狀、測點位置和使用儀器；另為量測架空輸電線下最大之電場值，測點需儘可能在空曠地避免超過 30 公分以上之鐵塔、樹木、圍

籬、高草等之干擾，典型量測計劃如圖四。

(2) 在住家環境之電場量測上可分為地點量測和個人曝露環境之量測。地點量測其目的在了解電場源和電場分佈全貌以做為規劃新電源線、評估改善對策或爭議界定的背景資料，量測上可規範在住家擇一固定地點量測一段時間。個人曝露環境電場的量測，量測儀器須為可攜式，一般量測時間為 24 小時，其量測值常隨位置與時間而變化，因此其可量測個人在不同時間（平日及假日）不同季節所面臨電場環境之變化；至於睡覺時，由於量測儀器需特別注意遠離電風扇或電子鐘等電器，以避免量測結果受干擾。

(3) 由於家電用品之電場量測方法尚未標準化，其量測結果又常受其所發出調和（harmonic）分量和地形所影響，因此量測報告中必須記載以下幾點：

- 家電用品與量測儀器之距離；
- 量測儀器的測量頻寬；
- 假如量測資料為最大值時，須附記其距離或平均值。

(4) 在量測住家環境之電場值時需注意點如下：

- 一個空間一次量測一點；一組量測點分別在不同房間同時進行時，應儘可能量測不同季節及家電用品在使用與不使用情況下之電場變化；
- 量測電源線進入住家之側剖面電場變化，與住家周

界電場值。

- 量測起居室、臥室等固定點之時間系列變化。
- 量測個人曝露電場值。
- 量測電場調和 ( harmonic ) 分量。

(5) 美國對電場量測訂定 ANSI / IEEE 標準 644/1987 , 其規範如下 :

- 在架空輸電線下方 , 距離地面高度 1 公尺進行量測。
- 電場強度檢測儀器在測量時 , 檢測人員應與儀器保持 1.5 公尺以上之距離 , 以減低人體之遮蔽效應影響。
- 檢測儀器距離四周地上物應保持 2 公尺以上之距離。

4. 電場很容易被金屬外殼、鋼筋建築物、樹木、人體皮膚等屏蔽而衰減。電力設備如變壓器、電纜等皆有金屬外殼 , 其外面幾乎沒有電場 ; 屋內室變電所之所有設備都在鋼筋建築物內 , 對電場屏蔽極佳 , 又人體皮膚對電場屏蔽極佳 ( 約衰減一億倍 ) , 進入人體電場幾乎為零 , 因此世界上在電磁場對人體健康影響之研究 , 已將電場排除 , 而以磁場為主。

## (二) 磁場強度分析

1. 只有電壓不一定會出現 “ 磁場 ” , 須有負載電流始會形

成“磁場”。變電所內部裝置高電壓、電流轉換地點，會因通過之電流強度大小而造成磁場強弱之差別，此外磁場之強度亦會隨著距離的增加而衰減。在架空輸電線下所量測之磁場強度受到下列三項因素決定：(1) 輸配電線的排列型式。(2) 導體電流強度。(3) 距離測量儀器之距離。倘若電路是單一電線，且距離測量儀器頗遠，則距離電線  $r$  公尺處之磁場強度可表示為  $B = 6.56I/r$ ，(  $B$ ：微高斯， $I$ ：安培)；若兩條具有相同電流強度的電線其之間之距離為  $d$  公尺，此時之磁場強度可表示為  $B = 6.56Id/r^2$ ，若電流是繞著迴路流動時假設此迴路半徑是  $a$  公尺，則此時之磁場強度可表示為  $B = 10.31Ia^2/r^3$ ，當然實際上測量所得的結果並無法完全滿足上述方程式的計算方法，原因是實際狀況下會有交互干擾的磁場存在，相同相位的磁場同時作用會產生相加之磁場效應；若兩個磁場的相位相反，也就是說當一個磁場在某一個相位上達到最大的強度時，另一個磁場正好在其相反相位上達到其最大強度；此時這兩個磁場剛好互相抵消，測得磁場強度將為零。此磁場相加相消的原理同樣可用來解釋電場的相互作用。而磁場強度沿架空輸電線兩側往外延伸而衰減（其衰減情形如附圖五所示）。一般架空輸電線下所量測之磁場強度往往比家電用品所量測之磁場強度為小，例如在 500Kv 的電線下其磁場強度約為 0.05mt (0.5 高斯)，然彩色電視機或廚房電爐附近其磁場強度可達 0.5 至 1.0mt (5 至 10 高斯)。磁場與電場不同之處在於磁場可輕易通過一般障蔽物。

2. 對於曝露於何磁場強度和曝露時間是安全考量問題上，一般科學界認為在 100 高斯的磁場環境下是有危險的；而在一天的工作期間內以不要曝露超過 10 高斯之環境為安全，至

於磁場強度和曝露時間之安全標準如下表：

磁場強度與曝露時間之安全標準表

身體部份	曝露時間				
整個身體	> 2 小時	< 2 小時	< 0.5 小時	< 15 分鐘	< 5 分鐘
	< 100 高斯	< 200 高斯	< 500 高斯	< 700 高斯	< 1000 高斯

註：所列曝露時間以在 24 小時內不得重覆曝露為基準。

### 3. 磁場量測

- (1) 在磁場的量測期間有二個重要因子必須測量，其一為個別量測三軸中不同方向之磁場最大值，另測量測磁場頻率。而影響量測值之主要因子有三類，第一類為量測場地既有的磁場，如家用電線、地磁等；第二類為溫度、溼度和地面覆蓋物等；第三類為輸電線的電壓、電流、導線形狀和測點位置等。
- (2) 一般家用之電器設備皆會產生磁場，雖然強度與出現時間皆不長，但因使用機會大，亦為應注意之項目。而家用之電子設備亦可能因磁場之干擾而影響其功能，但除應考慮交流磁場之外尚須考慮靜磁場（地磁磁場），地磁似不變，但因如卡車等大型磁性材料（卡車車體是鐵材）在附近通過時，由於其鉅大導磁體的移動而使靜磁場受到擾亂，此雖不影響生態，但足以影響靈敏電子設備的運作。

### 4. 美國對電力頻率磁通密度量測訂定 ANSI / IEEE 標準

644/1987，其規範如下：

- 在變電所四周，距離地面高度 1 公尺進行量測。
- 磁場檢測儀器應距離永久磁性物質 1 公尺以上。
- 檢測人員得接近磁場檢測儀器，但對於磁性物質或金屬導體，則檢測儀器應距離 3 倍該物體尺寸以上距離。

### (三) 電磁場對環境及生物體之影響分析

#### 1. 電場及磁場之影響

- (1) 除了極高強度電場所產生之休克危害外，一般電場所產生表面電流所可能產生之急性和慢性健康效應在本文獻回顧中亦廣泛的被提及。研究指出：放置在變輸電線下之蜜蜂其死亡率顯著增高，蜂蜜產量則顯著降低，經測量箱內因電場所產生之電流 (electric field induced current) 後，研究者推測造成蜂群不良健康效應之主因可能為因電場而引起之較高表面電流。後續研究利用屏蔽遮蔽蜂箱後，蜂群之健康效應則獲得改善。一般咸信，日常生活中因高壓輸電線電場所產生之表面電壓及電流相當的微弱 (通常為無感)，許多研究者亦相信：曝露於輸配電線及一般家電所產生之電場中於短期內並不會產生人體不良之健康效應。另研究探討高壓輸電線對生態環境之影響。所針對之生態環境參數包括植物生態及物種分布。此類研究在評估高壓輸電線經過地區之生物物種分佈在一段時間後並無改變。

(2) 根據美國匹茲堡卡內基美隆大學工程暨公共政策系系主任兼電機暨電腦工程學系教授摩根先生的文獻研究結果，國際間關於 60 赫茲磁場可能造成的生理影響的研究分為兩方面：

- 將單細胞、細胞群、組織以至於人體或動物曝露於磁場中，觀察任何產生的變化。
- 以流行病學研究的角度，追蹤人類疾病和曝露於 60 赫茲磁場之間的關連性。

以下即就此二方面說明目前研究的結果。

- 根據實驗結果顯示，在某些特定的情況下，磁場能和細胞表面作用並且影響細胞內部，另外，有些研究將大批老鼠及單一細胞曝露於磁場中，結果顯示，動物和組織是否曝露於磁場中對其並無影響。必須注意的是，此等實驗的情況與我們平常曝露於電磁場中的情況有很大差別，其採用的磁場強度遠高於日常生活中所曝露的磁場強度。大部分的研究利用多細胞和動物來做實驗，但也有一些情況以人作研究。研究顯示，對人影響程度並不一定；也有將弱電反覆透過一些志願實驗者好幾個小時，則其附著於志願者皮膚上的電極並沒有顯著反應。

所有這些不同的生理變化及作用都值得注意，但是沒有直接證據證明磁場對人體健康造成影響，所以磁場對人們的健康有那些確切的影響，尚屬未知。

- 有兩大類的流行病學研究，探討癌症和曝露於 60 赫

茲磁場之間的關連性。第一類的研究是觀察與磁場有關的工作人員罹患不同疾病的死亡率做比較。第二類是比較患有特殊癌症的人，特別是白血病的病人和其他不患病的人，調查他們在磁場曝露情形是否有所不同。

上述兩類流行病學研究結果發現：在統計學上，癌症的增加率和磁場曝露的增加了確有某種程度的關連。隨著研究和癌症種類的不同，曝露於磁場的罹肺癌率，可能比那些沒有曝露於磁場的人高 2 到 3 倍（吸煙會使罹患肺癌的機率高達一般人的 20 60 倍）。

這些流行病學的研究，只是表示他們二者之間有統計學上的關率，並無法證明磁場導致癌症的發生。在流行病學的用語中，“關連”（association）一辭，只代表在統計學上事情同時發生的機率，並不表示有“導致”或“歸因”之因果關係，亦不確言係某一事會引起另一事。此外，流行病學的研究結果是否可以採用，仍然有極大的爭議。一些細心且負責的科學家，也指出這些研究在設計及解釋上有很多的問題。他們不斷爭論，已經發表的數據可能是來自統計有問題所得的結果，或者癌症可能是其他誘因所引起。例如，大部分的研究對於其他致癌物質均未作“控制”，比如吸煙和化學藥品的曝露。要解決這些爭議需要更多、更好的資料。

因此，曝露於磁場是否導致癌症的發生，尚需更多、更完整的資料的證實。

其次，從文獻資料探討曝露於低頻電磁場是否會增加罹患癌症的機率時，必須要有一個觀念，即罹患癌症的原因有很多，低頻電磁場只是被懷疑的因子之一，其他尚有一些危險因子也與癌症的發生有關。關於低頻電磁場是否會造成其他生物效應的影響，該研究報告亦進行文獻研究的工作，以下是重要的文獻研究成果：

- (一) 有兩篇研究電磁場曝露與異常懷孕結果的研究均未發現兩者之間有統計上之相關。
- (二) 一篇文獻探討之研究綜合所有探討婦女從事於 Video Display Terminal (VDT) 的工作環境與異常懷孕結果的研究指出：在九篇探討 VDT 工作者與自發性流產之相關性的研究中，有七篇顯示無相關性之結果。而另兩篇發現正相關之研究報告則被評為有研究設計上的缺失。
- (三) 在探討先天畸型方面，在六篇文獻研究中，只有一篇結果顯現正相關，但該篇報告的作者懷疑正相關的產生可能是因為 VDT 工作者有較高的比例有壓力和吸煙。
- (四) 在探討胎兒生長與 VDT 工作環境之四篇研究則一致指出兩者無相關性存在。
- (五) 從事電力工作者與居住在靠近高壓電線之婦女，其沮喪指標（測量精神沮喪程度）並未異於常人。

上述研究結果大致上支持早期的研究結論，亦即低頻電磁場與異常懷孕結果，或導致精神沮喪的行為改變無關。

由以上文獻研究報告的分析與說明，對曝露於低頻電磁場中是否危害健康均有正面及反面的意見，發表正反意的人士均為學有專精、聲譽卓越的科學家，而且此課題尚在爭議中未見定論，但有愈來愈多外國的研究資料，均趨向於沒有影響。

## 2. 電磁場之特定健康及環境效應

- (1) 對心律調整之效應：體外研究指出 50/60Hz 磁場對某些型式之心調整器正常運作產生干擾的作用(干擾程度隨調整器之型式及植入體內之位置及方式而不同)，但尚無研究報告指出人體因植入體內心律調整器因受高壓輸電線影響而產生立即之危害。近來新型之體內心率調整器在設計及植入手術之方式上均將電磁場干擾因素一併考慮因此電磁場對體內心律調整器之影響被減至最低。
- (2) 對易燃物質之效應：在輸電線之設計上由於放電火花 (spark charge) 所可能產生之燃燒效應通常會被考慮。汽車於輸配電線下加油 (汽油蒸氣為易燃物質) 為最常被提及之危險動作因而建議此行為應儘可能避免，根據 BPA 之研究報告指出：該公司 35000 英里之 500-KV 輸電線下從未發生此類因汽油蒸汽受放電火花影響而產生點燃作用事件，顯示此類危險在小心行為下之發生機率應可降至最低。

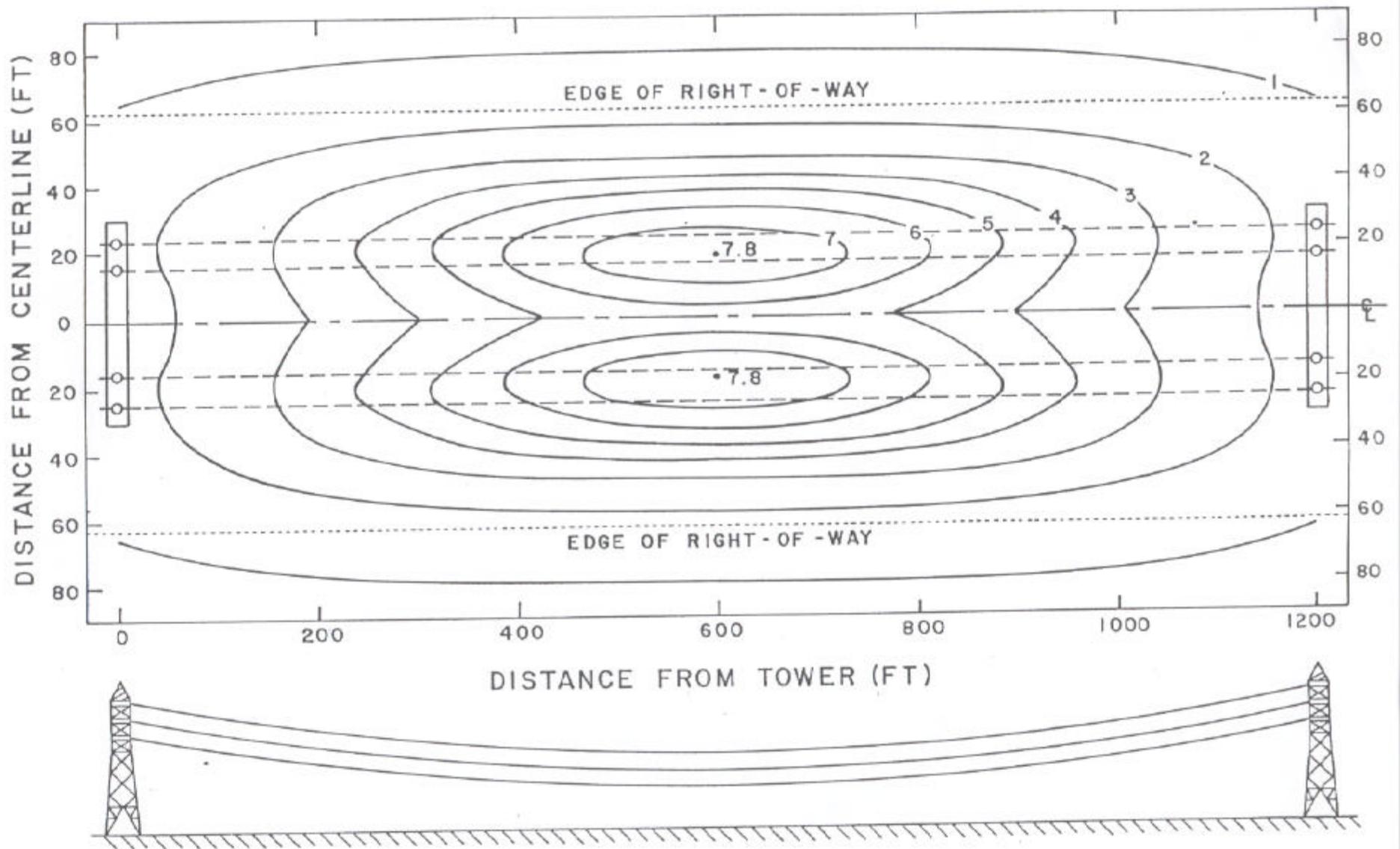
(3) 電暈效應 ( Corona Effect ): 電暈作用導因於導體附近電位差加大後產生空氣離子化之現象，電暈效應對環境之影響通常是局部性的，電暈現象發生後，局部臭氧 ( ozone ) 濃度隨之增高，並產生光及噪音等另人不悅之環境，目前研究並未指出因高壓輸電線所產生之電暈作用會對人體或動物產生健康危害，因為因電暈效應所產生之臭氧濃度通常遠低於環境容許之濃度值，且由電暈效應所引起的高頻噪音 ( electromagnetic interference ) 對環境之影響。至於電力設備，辦公設備，生產設備或研究設備，甚至一般家庭最常見的電腦監視器，若耐磁性較差之產品約 10mGauss 就會產生輕微搖動現象，雖然亦可藉屏蔽影像管解決，一般垂直磁場會產生水平振動，而垂直於螢幕之水平磁場會產生掃描線有週期性的轉動。

參：出國期間所遭遇之困難與特殊事項：無。

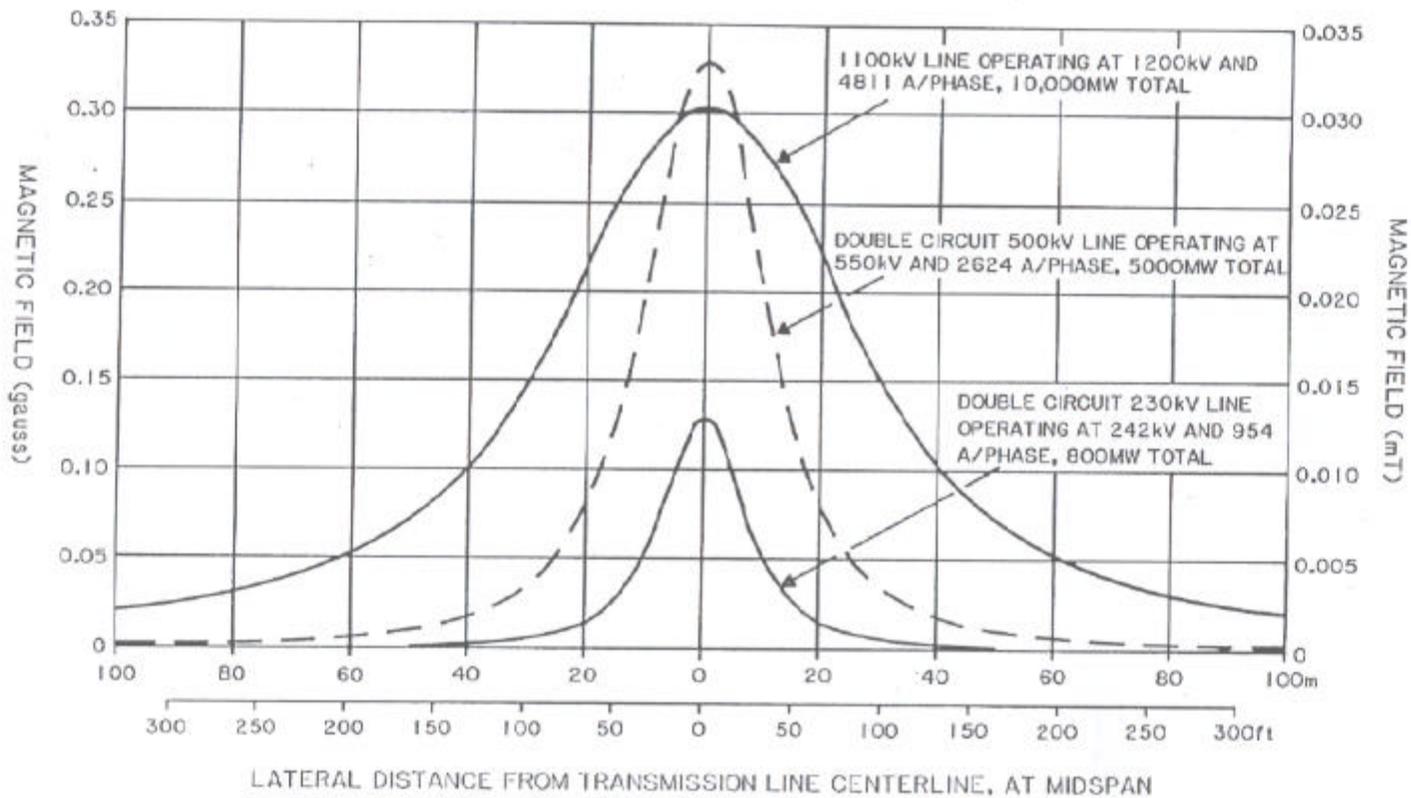
#### 肆、對本公司之具體建議

- 一、在生物影響分析上由於生物體體型大小之差異，受體實際量測之電磁場強度亦有所差異，未來為取得較佳之生物效應分析資料，需跨醫學、心理、環境和人體動力學領域之專家整合研究，且此部份研究經費龐大，建議公司可持續觀察國際安全標準制定機構的研發動態，尤其是生物致病機轉的理論與實驗研究，如有任何新的發展，即可迅速檢討其影響並採行必要之因應措施。
- 二、鄰近住家之變電所或架空輸電線之電磁場量測結果，建議製作文宣資料主動對外宣導，使民眾對電磁場的安全曝露有較

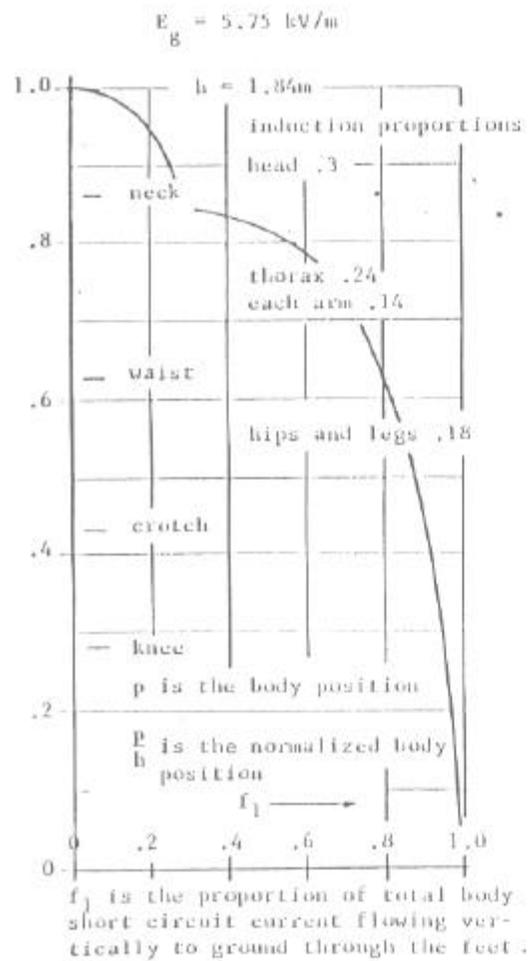
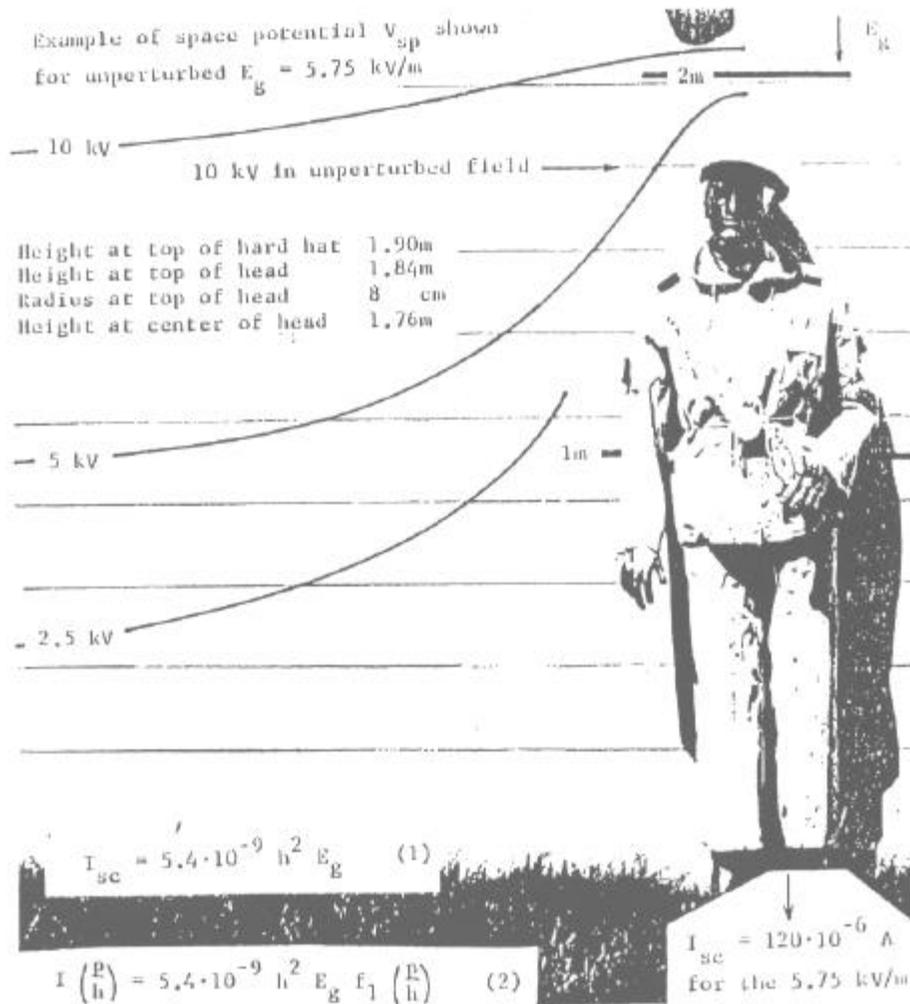
佳的認識，進而減少不理性的抗爭。



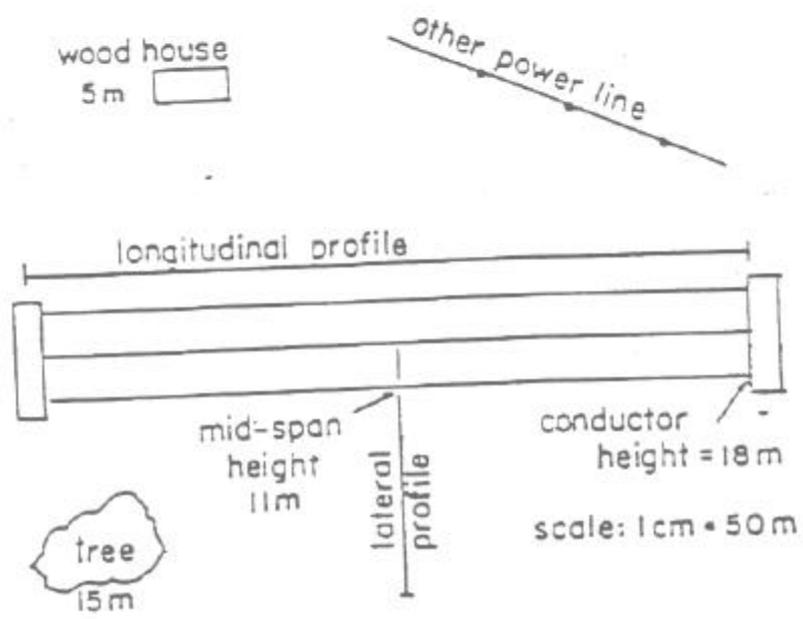
圖一、架空輸電線下等電場強度 (kv/m) 分佈圖



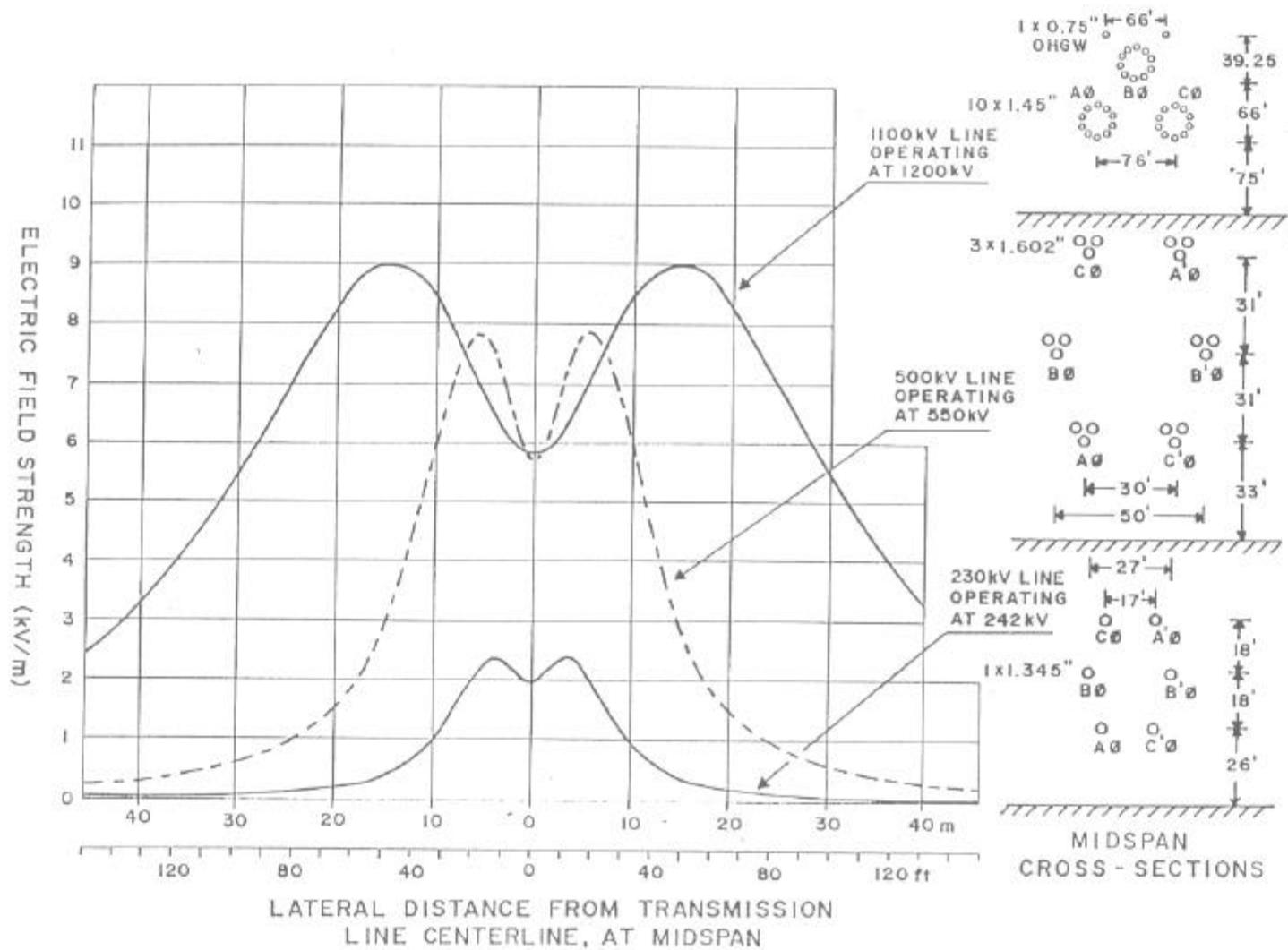
圖二、架空輸電線兩側離地面 1 公尺處之電場強度分佈



圖三、電場所產生感應電流在人體之分佈圖



圖四、電場量測計劃圖



圖五、架空輸電線兩側離地 1 公尺處之磁場強度分佈