

台灣地區臭氧及紫外線觀測之資料分析

陳福來 張修武

第二組

中央氣象局

摘要

中央氣象局自民國 54 年起於台北開始大氣臭氧全量的觀測，目前在台北及成功各有一套臭氧分光儀，在板橋有一套臭氧探空儀可進行觀測。從資料顯示，台灣地區臭氧全量有明顯的季節變化，在春末的 5 月最高，而在冬季的 12 月最低。近十餘年來，全球上空除赤道地區外的臭氧全量有逐漸減少的現象，而台灣上空亦觀測到同步遞減的情形。由於臭氧層逐漸稀薄後，會使得到達地面的紫外線輻射強度增強。台灣地區由於緯度低且臭氧層較中緯度地區稀薄，在夏天中午，若雲量少且太陽直射的時候，紫外線輻射極強，民眾應避免在陽光下曝曬過久，以免造成皮膚、眼睛、免疫系統或身體其它部位受到傷害。分析台北及成功的紫外線觀測資料，顯示中午 12 時左右紫外線輻射最強，月份中以 7 月最強，12 月或 1 月最弱，且東部成功的紫外線輻射強度高於台北。中央氣象局為加強為民服務的工作，亦計劃在未來提供紫外線指數 (UV Index) 資料，以供民眾參考。

一、前言

中央氣象局自民國 54 年(1965 年)起於台北開始臭氧全量(Total Ozone)的觀測，當時所使用的儀器為陶伯森臭氧分光儀(Dobson Ozone Spectrophotometer)。1985 年起，引進自動化作業的布魯爾臭氧分光儀(Brewer Ozone Spectrophotometer)以取代原有之陶伯森臭氧分光儀。1991 年將台北的臭氧分光儀增加了紫外線觀測的功能，並於台灣東部之成功再增設一部布魯爾臭氧分光儀，同年更進一步在板橋探空站裝設一套瑪莎拉臭氧探空系統(Vaisala Ozone System)，開始臭氧垂直剖面之觀測。另外環保署、氣象局、各地的環保局及研究單位等，亦設有空氣品質監測站，可監測地表附近的臭氧濃度，這些近地面的臭氧也是構成臭氧全量的一部分。

在紫外線輻射方面，依世界氣象組織之定義(WMO, 1981, 1983)，其波段可區分為紫外線 A(UV-A)、紫外線 B(UV-B)及紫外線 C(UV-C)三部分。波長從 400 至 315nm($\text{nm}=10^{-9}$ 公尺)為 UV-A，此波段的紫外線可自由穿透大氣層不受臭氧層的

影響；波長從 315 至 280nm 為 UV-B，臭氧在此波段有很強的吸收帶，若大氣中臭氧減少，則到達地面的 UV-B 將會增加；波長從 280 至 100nm 為 UV-C，此段波長完全被大氣吸收，故無法在地面觀測到。由於太陽到達地球的短波輻射中，其能量主要集中於可見光的波段中，紫外線波段只佔約十分之一以下的能量，而地面觀測的大部分紫外輻射能量是屬於 UV-A 波段的，其能量從 400nm 起開始下降，至 315nm 起以指數方式急速下降，至 280nm 時其能量已減少好幾個數量級，只剩趨近於零的能量。故欲長期精密準確地測量大氣中各波段之紫外線輻射量，是非常不容易的。

二、紫外線輻射的觀測

目前發展出來觀測紫外線輻射的儀器，依其感應器之不同，可分為三類：(1)掃描式光譜儀(Scanning Spectroradiometer)、(2)不連續光譜線儀(Discrete Spectral Line Instruments，簡稱為 DSL)、以及(3)寬波段儀器(Broadband Instruments)。三類儀器各有其適用範圍及優缺

點，分述如下：

(1)掃描式光譜儀

目前各地使用最普遍的掃描式光譜儀，為布魯爾分光光譜儀(Brewer Spectrophotometer)，此儀器可與進行臭氧全量及紫外線的觀測，故亦稱為布魯爾臭氧分光儀。其紫外線觀測的波段從 290nm 至 325nm，每隔 0.5nm 做一個觀測，由於此儀器的波譜間隔較窄(只有 0.5nm)，故觀測極為精確，但儀器掃描一次的觀測需花費數分鐘之久，有時遇到雲層快速移動，則明顯影響觀測所得之波譜分布，故波譜掃描於晴天狀況下進行時資料較正確。此儀器售價高達十萬美元以上，且操作、校正及維護儀器所費不貲，因此不適合大量設站，目前中央氣象局在台北及成功各設有一套儀器。

(2)不連續光譜線儀(DSL)

DSL 具有和掃描式光譜儀類似的較窄波譜間隔(約 2-5nm 寬)，不同的是掃描式儀器能選取任意的 UV 觀測波段，而 DSL 則只能在某些固定波段上從事觀測。DSL 的反應時間快速(約是數秒)，即使是在快速變化的天氣狀況下亦能使用。DSL 的售價約一、二萬元，目前國內暫時沒有此方面的儀器。

(3)寬波段儀器

在美國使用最普遍的寬波段紫外線輻射監測儀器是 Robertson-Berger 的儀器(簡稱為 R-B)，係 1950 年代由 D.F.Robertson 所發明的一種專門測量皮膚致紅反應的紫外線輻射儀器，後由 Berger 再設計改良成較新的機型(Berger, 1976)。此種寬波段儀器具有簡便、易於操作、維護及價格低廉等優點。此外，其快速的反應時間(0.1sec 左右)亦使其可在任何天氣狀態下進行觀測。然而，此儀器有易受溫度影響且穩定度較差的缺點。為改善這些缺點，D. Berger 和 M. Morys 又研究出最新的機型，此即第三代 Robertson-Berger 儀器，也就是 SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀。此儀器主要可量測 290nm 至 320nm 波長的紫外輻射量。

1996 年 11 月環保署與中央氣象局合作引進一

套 SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀，裝置於氣象局之台北紫外線實驗站，進行觀測和比對。此儀器內設計有溫度穩定器，故在攝氏-40 至 50 度的環境溫度下，每度的反應偏差約為 1%內。其波譜反應範圍與皮膚致紅的反應曲線相當一致，所以是量測皮膚致紅之紫外線輻射量的實用工具。除此之外，中央氣象局在台南及蘭嶼各裝一套美國 YANKEE 公司的紫外線輻射儀器，在台北及成功各有一台 EPPLY 公司的紫外線輻射儀，這些也是屬於寬波段的儀器。

三、紫外線強度與指數

根據觀測的資料顯示，地球臭氧層破壞的情形在最近十餘年來相當嚴重，所以近年來國際間對臭氧層問題非常重視。除此之外，因臭氧層破壞所導致紫外線輻射增加的問題亦更加重視，各國除了加強對紫外線監測的工作之外，亦有部分國家已在進行每日提供民眾紫外線指數(UV Index)的工作，以協助民眾採取相關的保護措施，降低紫外線的累積和傷害，已開始進行的國家包括澳洲、紐西蘭、美國、加拿大、西德、希臘、英國、日本及北歐諸國等(USGCRP, 1995)。由於各國所使用紫外線指數的方法大同小異，而美國的資料較齊全且具代表性，今將其工作情形介紹如下：

從 1994 年夏天開始，美國國家氣象局及環保署提供了一項紫外線指數的實驗性新產品(USEPA, 1994; Long *etc.*, 1996)，它每日由氣象人員實驗性的發布，並包含在天氣報告中以供大眾使用，這個指數預報次日中午陽光最強的一個小時，到達地面之皮膚致紅的紫外線輻射量。此輻射量與太陽角度、臭氧全量、雲量、高度、空氣污染、地表反照率等因素有關，其步驟為：

- (1)計算次日的臭氧全量。為了做此工作，需輸入昨日美國海洋暨大氣總署(NOAA)衛星觀測的氣柱臭氧全量資料。這些資料必須在不同的氣象場做調整，以預報明日的臭氧值。
- (2)計算晴空狀況下到達地面紫外線輻射量的最大值。輸入臭氧資料，並執行大氣輻射傳送模式，可算出次日中午(12 時)到達地面紫外線輻射

的最大值。

- (3) 應用權重函數，使計算出的數值能和地面觀測系統配合。
- (4) 將結果加以積分，得到晴空狀況下中午一小時的最大紫外線輻射量，其單位為百焦耳/平方米 (hectoJ/m^2)，並依其數值的大小分成 0 至 15 級。
- (5) 利用預報的雲量將中午的輻射量加以調整。其調整的參數從 1.0 至 0.31 不等，依預報晴天、疏雲、密雲、陰天的機率，再以公式計算。此公式將預報率及紫外線觀測值與晴天計算值的比率加以比較統計而得，最後的結果即為對外發布的實驗性紫外線指數預報值。

爲了讓大眾方便使用這個指數，美國環保署將曝曬程度分成微弱(0-2)、弱(3-4)、中等(5-6)、強(7-9)、極強(10-15)幾個等級，陽光愈強，紫外線指數的數字也愈大。舉例來說，夏日晴空的紐約，其指數可達 8-9。而在豔陽肆虐的區域，例如佛羅里達和德州，在炎炎夏日時，指數可達 11 或 12，而台灣地區則可達到 12 或 13。這些指數除顯示陽光相對強度的級數，也能提醒大家何時需對眼睛和皮膚採取更多的保護。

對於不同的皮膚，在一定量的陽光曝曬下，會產生不同的反應，爲了說明此現象，首先定義皮膚之最小致紅量 (Minimal Erythmal Doses, 簡稱 MEDs)，其爲皮膚在陽光曝曬 24 小時內，變紅或產生紅斑所需的最小能量。這是測量陽光對皮膚傷害非常有用的工具，由醫學研究人員於實驗室中測得，而 MEDs 在不同研究人員及條件下是會改變的。一般而言我們可將皮膚分成(1)從未曬黑(白皮膚)、(2)有時曬黑(淡褐色皮膚)、(3)時常曬黑(深褐色皮膚)、(4)總是曬黑(黑皮膚)等四類，其所需的 MEDs 是不同的，例如對於從未曬黑(總是曬紅且最敏感)的白皮膚而言，其 MEDs 僅爲 1 至 3 百焦耳/米平方，許多白種人的皮膚屬於此種類型。對於總是曬黑的黑皮膚而言，其 MEDs 可達 5 至 12 百焦耳/米平方或更高，黑色人種的皮膚則大多屬於此類。而黃種人的皮膚則屬於(2)(3)類。

人們通常想知道如何使用紫外線指數，來規劃

他們在陽光下的時間以免被曬傷，其計算方法說明如下：

- (1) 將紫外線指數轉換成百焦耳/平方米的單位，例如指數爲 5 即代表中午 1 小時中，單位面積累積使皮膚致紅的紫外線能量爲 5 百焦耳/平方米。
- (2) 瞭解自己的皮膚類別，例如您的皮膚爲褐色皮膚，而其最小致紅量爲 5 百焦耳/米平方。若當日的紫外線指數爲 5，則代表中午 1 個小時累積的致紅紫外線能量爲 5 百焦耳/米平方，在此狀況下經過 1 個小時的曝曬，您的皮膚在 24 小時內即可能變紅或產生紅斑，若紫外線指數爲 10，則僅需半小時的曝曬，皮膚即可能變紅。在其他指數下或不同類別之皮膚時，可依此類推。

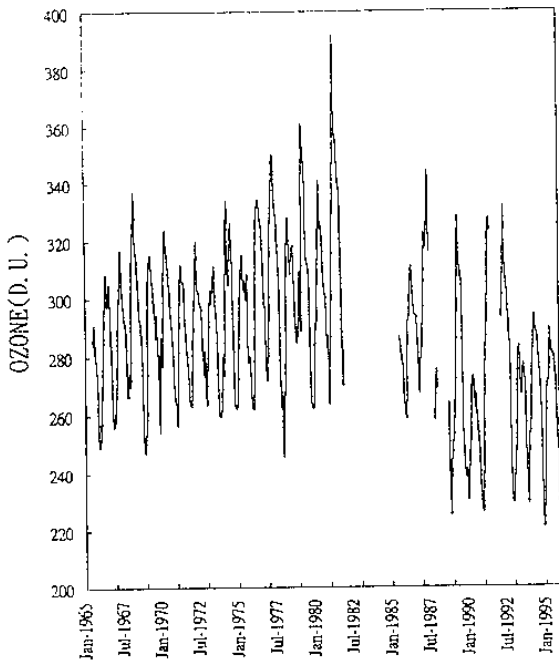
四、資料分析與討論

中央氣象局自民國 54 開始大氣臭氧的觀測，故有約 30 年的資料。而紫外射線的能量小且受時空變化的影響大，故欲準確地測量大氣中各波段的紫外線輻射能量是相當困難的。台灣地區由於觀測的時間短，目前無法顯示紫外輻射的長期趨勢，但仍可分析出不同觀測儀器及地點之紫外線輻射強度，及其日變化與月變化等，分述如下：

(一) 布魯爾分光光譜儀

從 1965 年 7 月起，中央氣象局在台北開始進行臭氧全量量的觀測，其中 1965 年至 1981 年使用英國製之陶伯森臭氧分光儀，之後因儀器老舊，從 1985 年起改用自動化作業之布魯爾臭氧分光儀，此儀器又可稱爲布魯爾分光光譜儀，它是利用電腦操控的系統，每日須執行水銀燈的波長校驗及標準燈的強度校驗，倘測試所得參數值在設定的合理範圍內，儀器始進行臭氧全量和紫外線的觀測。圖一爲台北臭氧全量累年月平均之趨勢圖，從圖中我們可以發現臭氧全量有明顯的季節變化，一般而言以春末的 5 月最高，冬季的 12 月最低(張等，1996)。其歷年之月平均值爲 289 陶伯森單位 (Dobson Unit, 簡稱 D.U., 在標準狀況下臭氧層

厚度為千分之一公分時定義為 1D.U.)。1985 之後，台北上空的臭氧全量有逐漸減少的現象，此與除赤道地區外之全球上空臭氧層變化趨勢是相似的。



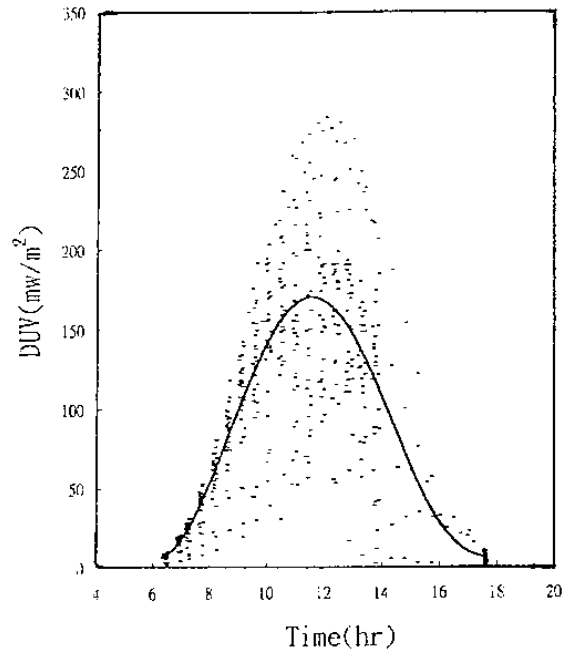
圖一：台北站臭氧全量累年月平均之趨勢圖。

在紫外線輻射方面。由於其與太陽的角度有密切的關係，在日正當中時(太陽天頂角為 0 度)，紫外線輻射的強度最大；在太陽極接近地平線時(太陽天頂角大於 75 度)，紫外線輻射的強度已極為微弱。故目前布魯爾分光光譜儀在白天作業時，即選定日出後太陽天頂角 75 度，至日落前太陽天頂角 75 度時，做紫外線輻射的觀測。

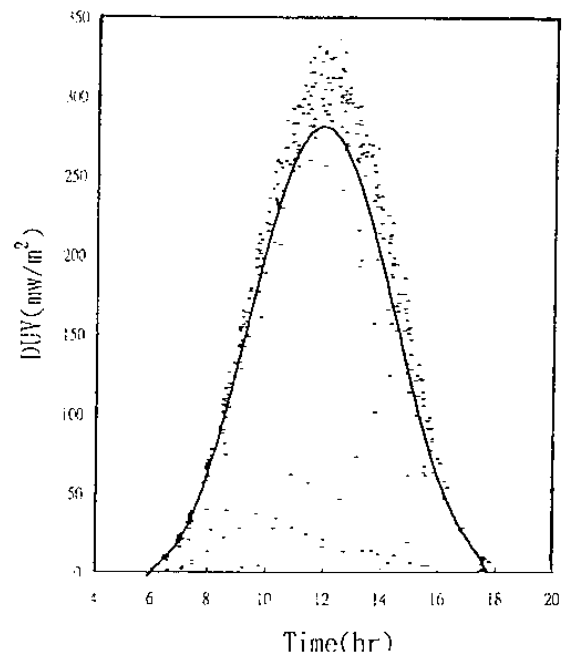
布魯爾分光光譜儀的紫外線觀測，是從 290nm 起每隔 0.5nm 做一個觀測，到達 325nm 時，再以每 0.5nm 的間隔遞減回來，整個觀測時間約須 7 分鐘，所得各波長的輻射通量密度經過紅斑作用光譜的加權計算及積分後，即求得到「危險紫外線輻射量」(DUV)。由於布魯爾分光光譜儀還須執行水銀燈、標準燈的校驗及臭氧全量的觀測，故目前紫外線的觀測約每半小時可以進行一次，將一天的所有觀測值加以積分即可求得日累積值(Daily integral)，

圖二及圖三為台北及成功 1996 年 7 月觀測的 DUV 值所製成的圖，每一 DUV 值以一個點表示，圖

中的曲線則為與每一測值誤差最小的線。從圖中顯示 DUV 的測值呈常態分佈，最大值發生在中午 12 時左右，清晨及傍晚測值最小。而成功的測值大於台北，顯示成功的紫外線輻射較台北強，台北最大的 DUV 值略小於 300mw/m²，而成功則有許多測值高於 300mw/m²。

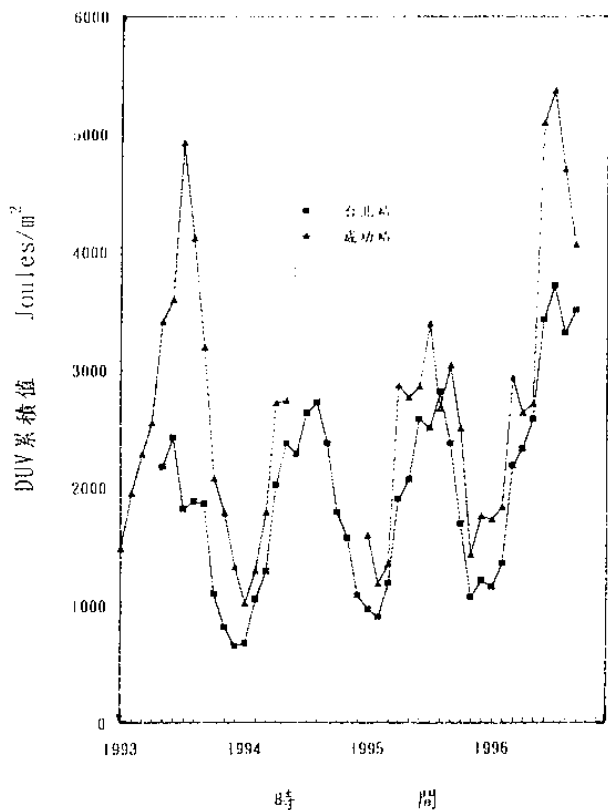


圖二：台北 1996 年 7 月布魯爾分光光譜儀所觀測的紫外線輻射值。



圖三：成功 1996 年 7 月布魯爾分光光譜儀所觀測的紫外線輻射值。

圖四為台北及成功之布魯爾分光光譜儀 1993 年至 1996 年每日累積的 DUV 的月平均值。從圖中可知紫外線輻射的季節變化是很明顯的，一般而言，以夏季的 7 月最高，冬季之 12 月或 1 月最低。而成功的月平均值皆大於台北。月平均的最大值出現在成功 1996 年 7 月，其值為 5366.8 Joules/m²，而台北的月平均最大值從 1993 年起，有逐年增加的趨勢，1996 年 7 月為 3704.9 Joules/m²。而月平均的最小值是出現在台北 1993 年 12 月，其值只有 651.5 Joules/m²，且台北及成功二站之紫外線輻射的月平均最小值從 1993 年起，皆顯示逐年增加的趨勢。



圖四：台北及成功之布魯爾分光光譜儀 1993 年至 1996 年每日累積的 DUV 的月平均值。

(二)美國 SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀

SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀及資料處理器各一台於 1996 年 11 月 20 日安裝於中央氣象局之台北紫外線實驗站，並開始進行初步測試，使用的單位為 MED/HR (Minimum Erythema Dose per Hour)，1 單位的 MED/HR 會使皮膚類別 2 的人(皮膚為淡褐色)在一小時的曝曬後，引起最低程度的

致紅。將紫外線各波段的輻射通量密度(Wm⁻²nm⁻¹)與紅斑作用光譜(MaKinlay and Diffey, 1987)交叉積分後，得到有效輻射通量(Effective Power)，而 MED/HR 與有效輻射通量的相關為：

$$1\text{MED/HR} = 5.83 \times 10^{-6} \text{W/cm}^2 = 5.83 \times 10^{-2} \text{W/m}^2$$

皮膚致紅的有效量是有效輻射通量乘以時間，例如目前紫外線的有效輻射通量為 2MED/HR，經過半小時的曝曬後，皮膚累積的有效量為 1MED。根據原廠的報告，紫外線指數(UV Index)可由 MED/HR 換算得到，1MED/HR 等於 2.3 單位的紫外線指數，經過初步校驗後，其正確性相當高。501 型紫外線輻射儀在出廠時皆會做儀器校驗，其條件是晴天、太陽天頂角 30 度、氣柱臭氧全量 2.7mm(270 Dobson Unit)、溫度攝氏 25 度的海平面。在不同狀況下儀器的測值會有誤差，若氣柱臭氧全量從 2.7mm 至 3.3mm，太陽天頂角為 0 度至 70 度，其誤差在 6% 以下。

目前每分鐘有一筆資料，其測值與太陽角度及天空狀況有密切關係。圖五顯示 1996 年(民國 85 年)11 月 20 日至 12 月 10 日這段時間每小時的平均測值，上圖縱座標的單位為 MED/HR，下圖使用的單位為 W/m²，從圖中可看到這段時間紫外線變化的情形，每日最大值以 11 月 25 日紫外輻射最強，其每小時的平均測值為 2.5MED/HR(紫外線指數約為 6)，而 12 月 5 日最弱，其測值僅為 0.2MED/HR(紫外線指數小於 1)，二者相差十餘倍。這主要是天空狀況的影響，若雲量及懸浮微粒較少時則紫外輻射強，反之若雲量多且厚而遮蔽了太陽，則紫外輻射會很弱。

將 SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀與布魯爾分光光譜儀所測得的資料加以比較，初步發現其一致性很好。圖六顯示 1996 年 11 月 21 日與 11 月 25 日，二日之紫外輻射值(mW/m²)，從資料得知此二台儀器之測值非常接近，而其它的時間也有相似的結果，這表示目前的觀測情形良好，資料相當正常。現在此二台儀器仍在繼續進行測試比對中，若情形順利，則對未來提供民眾紫外線指數報導將是一個好的開始。

五、結論與建議

1985 年之後，台北上空的臭氧全量有逐漸減少的現象，此與除赤道地區外之全球上空臭氧層變化趨勢是相似的。在紫外線輻射方面，本研究使用的儀器包括布魯爾分光光譜儀與 SOLAR LIGHT 公司 501 型寬波段紫外線輻射儀。其中布魯爾分光光譜儀可對 290nm 至 325nm 之波段，每 0.5nm 做一個觀測，所得到各波長的輻射通量密度，經過紅斑作用光譜(McKinlay and Diffey, 1987)的加權計算及積分後，即得到危險紫外線輻射量(DUV)。從台北及成功的資料顯示，每月之 DUV 測值呈常態分布，每日之最大值發生在中午 12 時左右。月平均值而言，以 7 月最高，12 月或 1 月最低，且有逐年增加的趨勢，而成功的月平均值均大於台北。

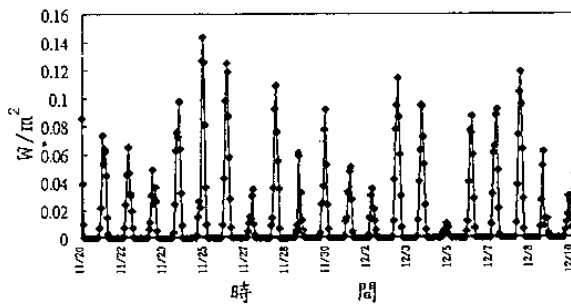
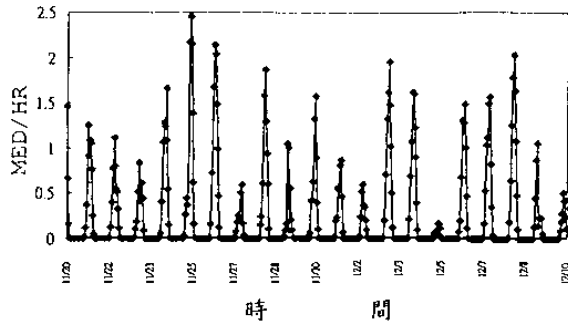
SOLAR LIGHT 公司 501 型紫外線輻射儀主要量測 290nm 至 320nm 皮膚致紅的紫外輻射量，於 1996 年 11 月 20 日安裝一台儀器於中央氣象局之台北紫外線實驗站，並開始進行初步測試，使用的單位為 MED/HR (Minimum Erythema Dose per Hour)，1 單位的 MED 約等於 2.3 單位的紫外線指數。經與布魯爾分光光譜儀之資料比較，發現其一致性良好，資料可信度很高，這對於將來紫外線報導工作是很有助益的。

致謝

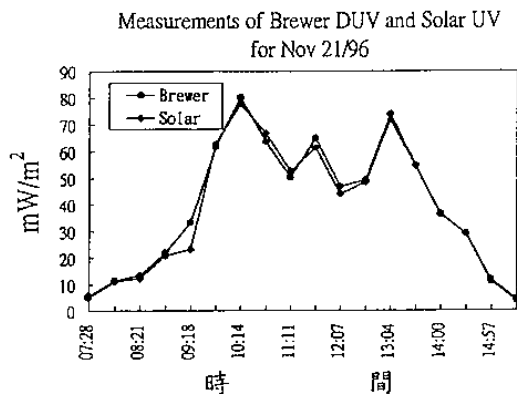
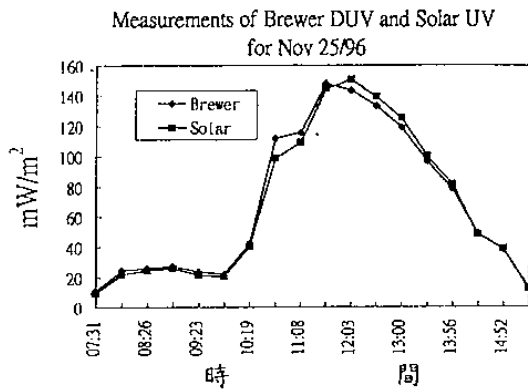
本文作者感謝美國喬治亞理工大學劉紹臣教授及台大柳中明教授提供寶貴的資料及建議，同時亦感謝中央氣象局謝信良局長的鼓勵及意見，林民生組長提供澳洲的資料，大氣物理科羅金鑑先生、羅如惠、陳瑋蘭小姐處理部分資料，及板橋、成功、蘭嶼、台南站同仁之觀測及協助，才能使本文順利完成。

參考文獻

王家麟、柳中明、陳福來、張修武、紀秀華、胡芳蓉、曾忠仁、王一中、吳宗堯，1996：台灣地區氟氯碳化物之監測與其影響之規劃研究



圖五：1996年11月20日至12月10日 SOLAR LIGHT 501 型紫外線輻射儀之測值。



圖六：布魯爾(Brewer)分光光譜儀與 SOLAR LIGHT 501 型紫外線輻射儀測值之比較。

- (二)子計畫:近地面紫外線監測與其長期影響之可行性估。行政院環保署專題研究報告 EPA85-1003-09-39 號, 139 頁。
- 林清洲, 張修武, 1995 : 台灣地區紫外輻射之研究。行政院國科會專題研究報告 NSC84-2111-M-052-012 號, 80 頁。
- 張修武、羅金鑑、羅如惠、陳偉芬, 1996 : 台灣地區臭氧全量之觀測與分析。天氣分析與預報研討會論文集編(84), 交通部中央氣象局主辦, 528-536。
- 張修武, 1995 : 改進本局臭氧分光儀之觀測及資料分析技術之研究。中央氣象局研究發展專題 CW84-1A-02 號, 58 頁。
- Berger, D. S. , 1976 : The sunburning ultraviolet meter : Design and performance. *Photochem. Photobiol.* 24: 587-593.
- Ditcher, B. K. , 1993 : Instrumentation requirements for establishing UV climatology. Preprint, *Eighth Symposium on Meteorological Observations and Instrument*, Jan. 17 - 22, 1993, Anaheim, California, USA.
- Environmental Protection Agency , 1994 : Experimental UV index, U.S. EPA 430-F-94-019, 10pp.
- European Commission, 1995 : Diagnosis of the increasing UV - B radiation levels, Environment programme, 8pp.
- Long, Graig S., Alvin J. Miller, Hai-Tien Lee, Jeannette D. Wild, Richard C. Przywarty, and Drusilla Hufford, 1996 : Ultraviolet index forecasts issued by the National Weather Service. *Bull Am. Meteor. Soc.*, 77, 729-748.
- United States Global Change Research Program, 1995 : The U. S. interagency UV - monitoring network plan. USGCRP-95-01.
- WMO, 1981 : Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source. WMO No. 557, Technical mote No.172, P:14-23, P.107.
- WMO. 1983 : Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO, No.8, 5 edition, P.9.1-9.40.
- World Meteorological Organization, 1994 : Scientific assessment of ozone depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project- Report No. 37.

