

臺灣西部及外島地區低能見度環境特徵分析及模擬

廖杞昌¹ 邱振源¹ 崔怡楓² 羅明福²
國防大學環境資訊及工程學系¹
海軍大氣海洋局²

摘 要

臺灣屬於海島型氣候，水氣充足，且西半部地區多屬平原及台地地形，更有助於濃霧形成，故有效掌握濃霧形成時機對於西部及外島各機場極為重要。本研究使用中央氣象局（2009~2014 年）及空軍（2011~2013 年）的地面氣象觀測資料，以統計法歸納出地區特性及成霧特徵，並建立氣象要素之霧時預測參考指標。其次，為發展屬於臺灣地區之低能見度預報模式，本研究利用高解析度WRF模式，針對臺灣西部地區最容易發生濃霧的冬、春兩季挑選嘉義及台南低能見度個案進行天氣分析及模擬，並參考國外學者成功模擬霧的參數設定及能見度方程式，嘗試模擬低能見度的發生，藉由比對發現模擬區域及成霧時間與實際發生大致相符。

關鍵字：低能見度、海島型氣候、濃霧、WRF模式

一、研究計畫之背景及目的

臺灣位處於中緯度副熱帶地區，屬於海島型氣候，且西半部地區多屬平原及台地地形，在每年的冬、春季節約（11 月至 5 月）臺灣介於冷、暖平流交會之處，常造成沿海地區發生濃霧現象，尤其臺灣西部及外島地區佈署多個空軍機場，低能見度將導致飛機起降視線不佳，對飛航安全形成重大影響。

有關低能見度或濃霧的成因及探究，過去已有諸多專家學者利用氣象要素統計方法及WRF數值模擬分析發表許多相關研究。氣象要素統計方面，謝等(2010)[1]藉由 1990~2005 年間的測站觀測資料進行統計分析，結果發現臺灣地區之年平均霧日約 57.4 天，其中以馬祖 23.5 天最多，而後依序為金門、嘉義及台南，外島霧好發於 12 月至翌年 6 月，以 4 月最多；本島霧則好發於 11 月至翌年 4 月。

WRF數值模擬方面，林(2010)[2]利用WRF數值模式模擬臺灣北部地區位於鋒前暖區時發生的低能見度現象，認為低能見度發展與位於臺灣西北海岸之中尺度低壓環流存在著密切關係，當低壓系統北移後引進之西北風使臺灣西北部外海的高濕度區進入台北盆地，此外，模式測試提高垂直解析層數將有助於提前掌握高混和比的現象。楊等(2010)[3]利用WRF中尺度模式針對一次鋒面霧造成貴州西部的低能見度進行數值模擬，發現在濃霧發生的過程中，地面鋒面正位於貴州中部偏西，且 850 hPa至 700 hPa始終受到西南氣流所控制，使貴州西部地區

持續維持高相對濕度因而有利濃霧形成。至目前為止，雖然已有許多針對霧的數值模擬研究，但仍有不少學者指出(Ballard et al., 1991; Bergot and Guedalia, 1994) [4] [5]，霧的模擬預報有潛在的困難存在，例如缺乏邊界層精細的初始溫度場及濕度場分布資料，以及不完整的微物理、亂流、大氣輻射參數化等，皆有可能使霧的預報產生極大誤差，所幸在數值模擬快速的發展下，相信將來對於霧的預報可以有更好的表現。

每個國家或地區受限於環境的差異及地理位置不同，成霧的特徵亦不盡相同，因此預報成霧的發生仍然有極大的瓶頸。本研究將藉由地面氣象觀測資料進行溫度、濕度、相對濕度、溫度露點差及風場的統計分析，瞭解臺灣地區成霧的區域特徵，並利用WRF高解析數值模式進行模擬，期望發展出一套適合臺灣的低能見度預報，使預報員能更有效提前掌握濃霧發生的時機。

二、研究方法

本研究使用中央氣象局 2009~2014 年（新竹、嘉義、台南、金門、馬祖測站）及空軍 2011~2013 年（新竹、嘉義、岡山）地面氣象觀測資料，資料時間間隔皆為每小時一筆資料，其中霧時的定義為測站能見度小於 1km及視障為 1 或 3 的 1 小時區間（視障 1 為霧，其相對濕度接近 100%，水平能見度不及 1km；視障 3 為低霧，為接近地表面之霧，

水平能見度不及 1km，霧之高度較低且厚度不高)。

首先利用統計學法，進行各測站霧時統計，由中央氣象局地面氣象觀測資料統計發現，臺灣西部地區以嘉義、台南等地區最容易發生濃霧現象，一年當中以 1~3 月成霧的次數最多；外島則以金門、馬祖地區最容易發生濃霧現象，一年當中以 2~5 月成霧次數最多，因此分別以本島西部地區 1~3 月及外島 2~5 月為基礎，統計濃霧發生期間各測站之氣象要素特徵，以了解成霧時的區域特性，進而建立霧時預測參考指標。

其次利用天氣學法，以謝等(2010)[1]所定義臺灣地區霧日生成的天氣類型，利用地面至 850 hPa 天氣圖、衛星雲圖將 6 年間霧日進行個案分析並歸類(表省略)，發現臺灣西部地區以高壓出海佔總霧日數的 27%最高，其次為高壓迴流佔了總霧日數的 26%，因此挑選此二類個案進行數值模擬研究，藉由不同的能見度演算法進一步分析與比對測站資料與模擬結果是否具有一致性，並尋求最佳模擬結果，以建立臺灣西部地區濃霧預報模式。

研究中使用四種國際上常用的能見度演算法進行模擬，內容如下：

(一)Steolinga and Warner method (SW99, 1998)

[6]

$$I(X_{obs})/I_0 = \exp\left(-\int_0^{X_{obs}} \beta(x) dx\right)$$

(二)Forecast Systems Laboratory (FSL, 2008)

[7]

$$VIS(\text{mile}) = 6000 \times T - Td/RH^{1.75}$$

(三)Rule-Based Fog Detection Scheme (NCEP, 2010)

[8]

模式最底層 $LWC \geq 0.015(\text{g/kg})$

10m風速 $\leq 1\text{ms}^{-1}$ 及 2m相對濕度 $\geq 95\%$

三、統計分析與預測參考指標

新竹測站統計顯示(圖 1)，溫度平均介於 14°C~19°C之間，此一區間的溫度成霧次數也最為頻繁，其中 1 月以 18°C成霧次數較多，2 月為 14°C~18°C，3 月為 15°C及 19°C，由此發現各月份成霧次數較多的溫度區間皆位於平均溫度內，非溫度愈低成霧次數就愈多，顯示新竹測站之溫度與成霧的相關性不大；溫度露點差方面，平均介於 2°C~3°C之間，成霧時介於 0°C~2.5°C之間，溫度露點差越低，成霧的次數愈多，其中 1 月以 1°C~1.5°C出現霧的次數較多，2 月及 3 月以小於 0.5°C出現霧的次數最多；相對濕度平均介於 85%~90%之間，其中 1 月以 95%成霧次數最多，2 月及 3 月以 100%成霧次數最多。

嘉義測站統計顯示(圖 2)，溫度平均介於 16°C~18°C之間，其中 1 月以 13°C~15°C成霧次數最多，2 月為 15°C~17°C，3 月為 16°C，由此顯示 1 月及 2 月成霧時溫度皆低於平均溫度，嘉義測站容易受降溫影響而成霧；溫度露點差方面，平均介於 2°C~3°C之間，而成霧時各月份分布有所不同，1 月以 0.5°C~1°C成霧次數最多，2 月為 0.5°C~2°C，3 月為 0°C~1°C之間，同時發現並非溫度露點差愈低成霧次數愈多，甚至高達 3.5°C仍然有少次的霧形成，顯示嘉義測站特殊的環境條件所造成；各月份相對濕度平均為 85%~90%，並以 90%以上成霧次數最多，相對濕度愈高，成霧次數愈多。

台南測站統計顯示(圖 3)，溫度分布隨著月份增加，平均溫度有上升的情況，表示冷空氣南下的情況明顯減弱，平均溫度 1 月為 16°C~18°C，2 月為 19°C~21°C，3 月為 22°C~24°C，霧時溫度介於 13°C~24°C之間，其中成霧次數最多的溫度區間分別為：1 月 15°C~18°C、2 月及 3 月為 16°C~19°C，顯示霧時溫度低於平均溫度；溫度露點差方面，成霧時以 1.5°C~2°C次數最多，因台南測站六年中出現 < 1°C的次數極少，故成霧次數也較少；各月份相對濕度平均介於 80%~85%，並以 90%~95%成霧次數最多，霧時溫度達 100%於六年中僅出現 12 次。

金門測站統計顯示(圖 4)，溫度方面 2~3 月受冷空氣南下影響溫度普遍偏低，多介於 14°C~16°C且不易有霧形成，4 月及 5 月溫度迅速回升，分別介於 18°C~20°C及 22°C~25°C，其中各月份成霧次數最多的溫度區間分別為：2 月 18°C~19°C、3 月為 18°C~19°C、4 月為 20°C~21°C、5 月為 23°C~24°C，顯示霧時溫度有高於平均溫度的情況，研判應與暖平流有關，使得金門地區常受平流霧所影響；溫度露點差方面，平均介於 1.5°C~2°C，成霧時大致介於 0°C~2.5°C之間形成，其中以 1.5°C~2°C成霧次數最多；相對濕度分布圖顯示，4~5 月相對濕度平均介於 90%~95%之間，其中以 90%~100%成霧次數最多。

馬祖測站統計顯示(圖 5)，溫度方面 2~3 月受冷空氣影響溫度明顯偏低，平均溫度介於 9°C~11°C，4~5 月溫度迅速回升，分別介於 15°C~17°C及 19°C~22°C之間，其中各月份成霧次數最多的溫度區間為：2~3 月 11°C~13°C、4 月為 14°C~19°C、5 月 19°C~23°C，由此發現各月份成霧次數較多的溫度區間皆位於平均溫度內，顯示馬祖測站溫度變化與成霧相關性較小；溫度露點差方面，平均介於 1.5°C~2.5°C，成霧時則以 1.5°C以下最多，顯示溫度露點差愈低，成霧次數愈多；相對濕度分布圖顯示，以 85%~100%居多，且相對濕度 100%成霧次數最多。

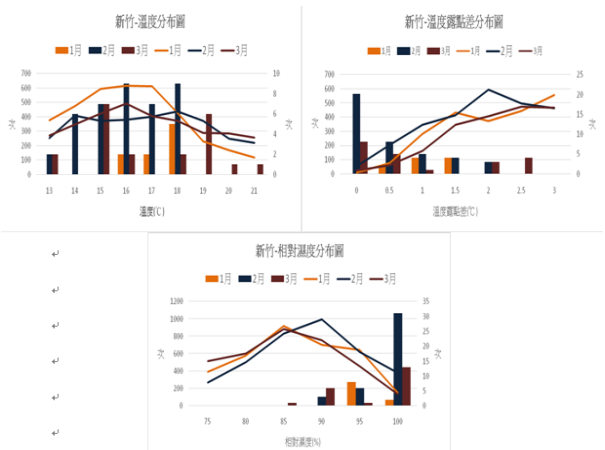


圖 1. 中央氣象局新竹測站氣象要素統計圖。

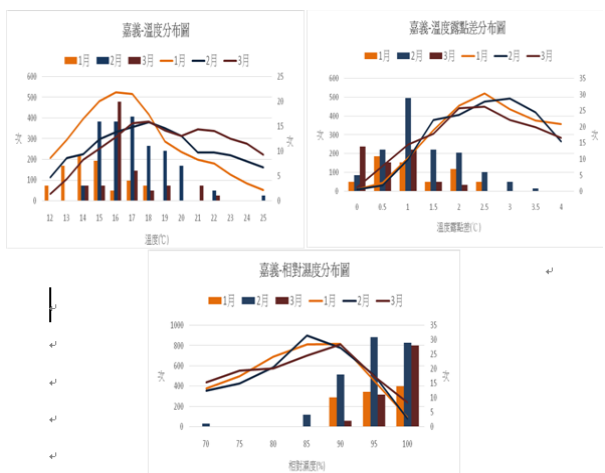


圖 2. 中央氣象局嘉義測站氣象要素統計圖。

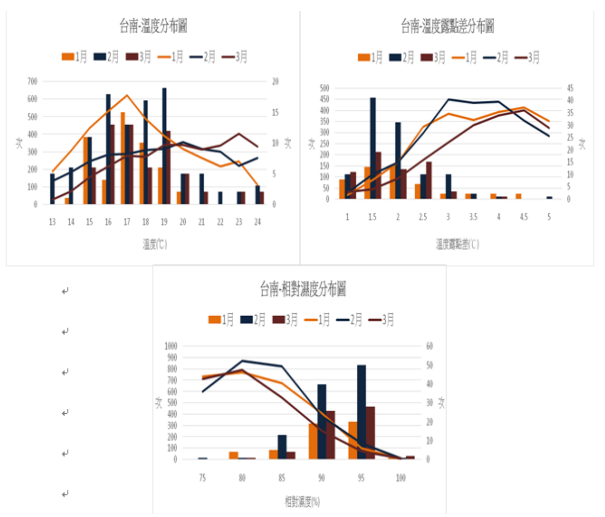


圖 3. 中央氣象局台南測站氣象要素統計圖。

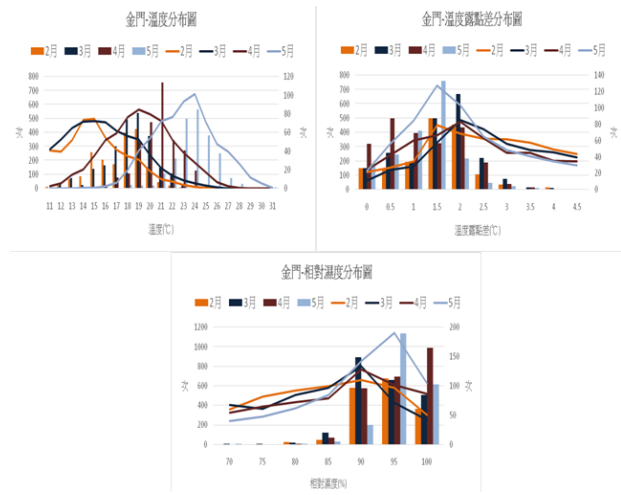


圖 4. 中央氣象局金門測站氣象要素統計圖。



圖 5. 中央氣象局馬祖測站氣象要素統計圖。

四、模擬結果分析

針對臺灣西部霧的好發季節 1~3 月進行成霧時環境場分析，發現嘉義、台南成霧次數大於各縣市，且成霧天氣主要受高壓出海及高壓迴流天氣型態所影響，其中高壓出海的霧日次數約佔了所有霧日的 27%，高壓迴流次數佔了 26% 之多，首先選取嘉義與台南測站受高壓迴流(2011 年 2 月 27 日)及高壓出海(2012 年 1 月 14 日)個案，以 WRF 模式模擬其環境特徵，尋求最佳模擬結果。其次，以最佳模擬結果之能見度方程式，針對 2015 年 11 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日各個霧日進行預報實驗，以建立臺灣西部地區濃霧預報模式。

(一)高壓迴流(2011 年 2 月 27 日)模擬結果

SW99 能見度方程式模擬結果(如圖 6)，測站資料顯示實際影響時間為 07~08LST，最低能見度為 800m。嘉義測站模擬情形在時間上差異不大，但在強度上有過度預報的現象；台南測站方面，時間上模擬與實際發生大致相符，但強度仍有些許落差。

FSL模擬方面(圖 7)，模擬結果在時間上與SW99 相仿，但能見度幾乎維持 100m，相較於SW99 於強度方面的過度預報情況更為明顯。

NCEP使用的霧檢測方案模擬結果(如圖 8)，發現雖然成功模擬了霧區，但受到風速條件影響下時間誤差較大，對於具有海島特性的臺灣來說，風速鮮少低於 1ms-1，對於沿海地區更是如此。

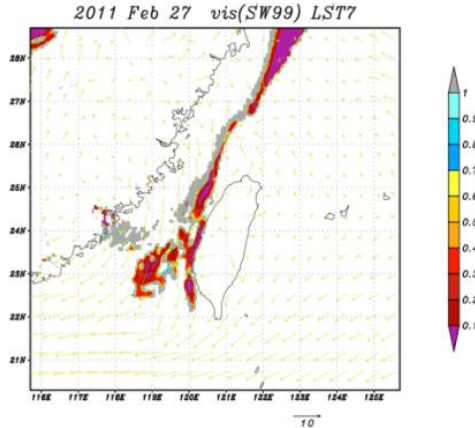


圖 6. 2011 年 2 月 27 日SW99 低能見度模擬圖

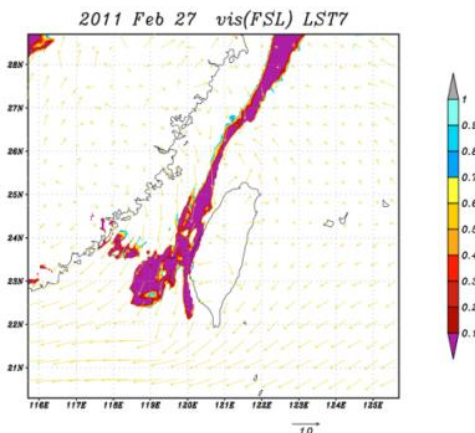


圖 7. 2011 年 2 月 27 日FSL低能見度模擬圖

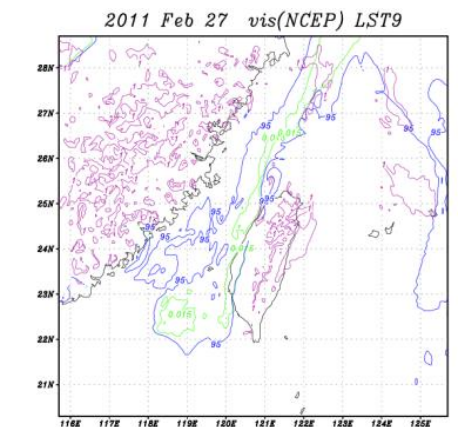


圖 8. 2011 年 2 月 27 日NCEP低能見度模擬圖(綠色：液態水含量、紫色：10m風速、藍色：2m相對濕度)。

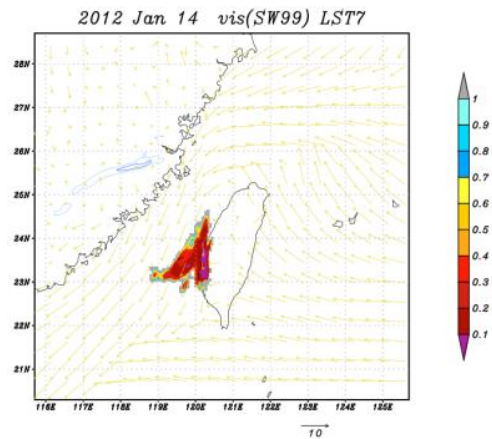


圖 9. 2012 年 1 月 14 日SW99 低能見度模擬圖

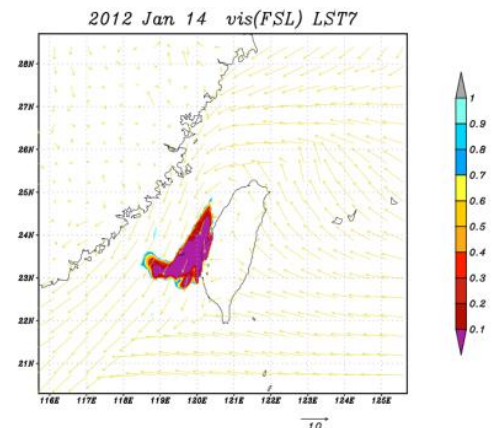


圖 10. 2012 年 1 月 14 日FSL低能見度模擬圖

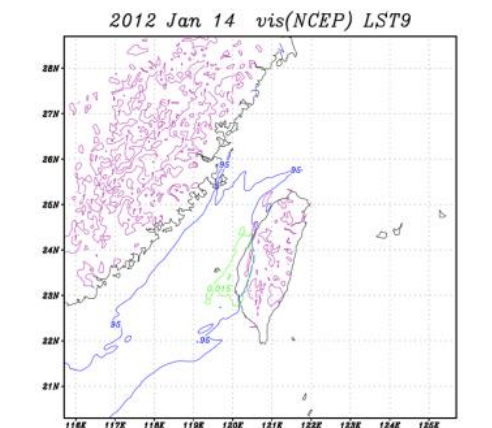


圖 11. 2012 年 1 月 14 日NCEP低能見度模擬圖(綠色：液態水含量、紫色：10m風速、藍色：2m相對濕度)。

(二)高壓出海(2012 年 1 月 14 日)模擬結果

SW99 能見度方程式模擬結果經分析發現(如圖 9)，SW99 模擬與實際發生在時間上有略微的差異存在，強度模擬方面，嘉義最低能見度低於 100m而實際最低能見度則為 300m，WRF模式大致上掌握了低能見度的影響時間、位置及範圍。

在FSL模擬方面（如圖 10），影響嘉義及台南地區的時間與區域大致與SW99 相同，但整體低能見度的強度幾乎維持低於 100m，顯示FSL對於能見度變化較為遲鈍，無法正確反應能見度的強度。

NCEP模擬發現（如圖 11），模擬到低能見度的時間落後實際影響時間 4 小時以上，且模擬結束時間亦較實際結束時間提前 3 小時，顯示風速條件對於NCEP霧的檢測方案仍然具有較大影響。

(三) 2015 年 11 月至 2016 年 3 月霧季預報實驗

本研究藉由表現較佳的SW99 能見度方程，針對 2015 年 11 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日各個霧日進行預報實驗，挑選中央氣象局西部地區人工觀測站所觀測到成霧的測站，分別為台中梧棲、嘉義及台南等測站，一天執行二次預報實驗，分別以 08LST及 20LST為初始場，每一次預報時間長度為 36 小時。表 1 為測站所觀測到的霧日及霧時，其中霧日數計有 13 日，從個案模擬結果比對顯示(圖略)，13 個霧日中，有 8 天成功預報出低能見度區域，其成功率可達 61.5%，且成功模擬之個案其影響時間與實際低能見度發生時間大致相符。

表 1 2015 年 11 月至 2016 年 3 月臺灣西部地區成霧之測站（時間：LST）。

| 日期 ^a | 台中梧棲 ^b | 嘉義 ^c | 台南 ^d |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (a)2015/11/05 ^e | ^e | 08 ^e | ^e |
| (b)2015/11/09 ^e | ^e | 05-08 ^e | 07-08 ^e |
| (c)2015/11/13 ^e | ^e | 05-06 ^e | ^e |
| (d)2015/12/13 ^e | ^e | 07-08 ^e | ^e |
| (e)2015/12/22 ^e | ^e | 08-09 ^e | 07-08 ^e |
| (f)2015/12/23 ^e | ^e | ^e | 21-02 ^e |
| (g)2015/12/25 ^e | ^e | ^e | 03-06 ^e |
| (h)2016/01/04 ^e | ^e | ^e | 1-11 ^e |
| (i)2016/01/05 ^e | 04-11 ^e | 08-10 ^e | ^e |
| (j)2016/03/03 ^e | ^e | 02-07 ^e | ^e |
| (k)2016/03/07 ^e | ^e | 01-07 ^e | 03-08 ^e |
| (l)2016/03/17 ^e | ^e | 01-07 ^e | ^e |
| (m)2016/03/20 ^e | ^e | 01-07 ^e | ^e |

五、結論

在臺灣濃霧的發生並不頻繁，因此對於低能見度的研究相對較少，但實際上因濃霧所造成的交通危害或飛航事故卻時而有之，在安全上確實有著嚴重的影響，反觀國內對於低能見度的預報作業仍以相對濕度多寡或綜觀尺度系統輔以主觀經驗判斷，對於預報之成果仍有相當大的改善空間。本研究為提昇低能見度預報能力，進行了二項工作：（一）以統計學法對較常發生濃霧的新竹、嘉義、台南、金門、馬祖等地區進行霧時統計分析，以了解成霧時該區域之氣象特徵，並進而建立霧時氣象要素預測參考指標，可供預報人員掌握氣象變化，即時判

斷成霧時機。（二）運用WRF模式配合國際上常使用之低能見度預報方程式，進行個案模擬及分析，並尋求最佳模擬結果，期以建立臺灣西部地區低能見度預報模式。

藉由各測站氣象要素統計，可以了解不同的地理位置及環境特徵之差異，將有助於短時間掌握成霧時機。其次由上述統計成果計算霧時預測參考指標，結果顯示各氣象要素之成霧可預報率僅僅只有 1%~18% 不等，顯示在未考量綜觀環境場的條件下，各氣象要素之變化並非成霧必要條件，仍需以高解析度之WRF模式模擬，方能提高預報準確度。

個案分析及模擬方面，SW99 與FSL演算法在成霧與霧消的時間上與觀測資料大致相符，但在能見度強度上，SW99 較FSL的辨別能力更好。而NCEP的診斷方式需以地面風速低於 1ms-1 為條件，模擬上成霧與霧消的時間與實際觀測差異較大，原因是臺灣為一海島，地面風速低於 1ms-1 的時間較少，故NCEP的診斷方式不適用於臺灣地區。

最後針對 2015 年 11 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日之霧日進行預報實驗，預報結果確切的反應出了低能見度的發生時間、位置及強度，其預報成功機率達 61.5%，相較於過往以主觀經驗輔以相對濕度之作業方式有了大幅的成長。

參考文獻

- [1]謝明昌、鄭師中、黃椿喜、謝旻耕, 2010: “台灣地區成霧預報指引之建立”, 台灣警察專科學校警專學報, 4 卷, 8 期, 143-162
- [2]林雍嵐, 2010: “臺灣北部低能見度天氣個案模擬分析”, 第五屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會論文集
- [3]楊 靜, 汪 超, 2010: “貴州山區一次鋒面霧的數值模擬及形成條件診斷分析”, 貴州氣象, 34 卷, 2 期, 3-9 頁。
- [4]Ballard S. P., Golding B. W. and Smith R. N. B., 1991: “Mesoscale Model Experimental Forecasts of the Haar of Northeast Scotland”, Mon. Wea. Rev., 119, 2107-2123.
- [5]Bergot T. and Guedalia D., 1994: “Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part I: Numerical Model and Sensitivity Tests”, Mon. Wea. Rev., 1218-1230.

