

台灣松山機場低空風切之分析研究

蒲金標

交通部民用航空局飛航服務總台

摘要

本文使用 2001 年 9 月至 2002 年 8 月民航局松山機場低空風切警告系統(Low Level Windshear Alert System; LLWAS)之觀測資料，分析與探討低空風切之發生。初步研究結果發現，松山機場發生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。

夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15 時發生風切頻率為最高，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之，而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。

機場發生低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型再次之，鋒面過境型較少。其中發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型(雷雨引發)之次數為最多，颱風環流型次之，東北季風型和鋒面過境型再次。松山機場因雷雨陣風、颱風強風、鋒面過境以及強烈東北季風等風場改變大是為引發低空風切之主因。

關鍵詞：低空風切警告系統、低空風切、鋒面過境型、東北季風型、颱風環流型、西南季風型、微爆氣流。

一、前言

飛機在起降階段飛行速度較小，距離地面高度較低，在起降階段遭遇低空風切，風速驟然改變，飛行員應變能力相對較差。飛機在起降階段遭遇低空風切，若應變不及或處理不當，輕者造成飛機重落地或衝出跑道，重者可能釀成機毀人亡的慘劇，在台灣國內外飛機失事中，已有相當多案例，證實是因低空風切所造成。

蒲(2003)對美國低空風切系統發展和我們台灣松山機場低空風切系統有較完整的論述，美國聯邦航空總署於西元 1970s 發展出第一代低空風切警告系統(Low-Level Wind-shear Alert System; LLWAS)，系統經不斷改良，現在所用的系統稱之為第三代低空風切警告系統(Phase-3 LLWAS)，Phase-3 LLWAS 系統在跑道兩端向外延伸三海涅範圍內有足夠的測風台，通常有 12-16 個測風台之多。依據美國大氣大

學聯盟(UCAR)技術文件有關 LLWAS-3 風切系統的偵測範圍參考資料，LLWAS 系統能提供跑道向外延伸 3 海涅離到場走廊 1000 呎(300 公尺)以下的風切偵測能力(UCAR,1992)。

松山機場跑道方向為東西走向，分別為西邊的 10 號跑道及東邊 28 號跑道，機場附近地形複雜，東邊及北邊為山地地形，西面及南面則為高樓林立之都會區。江等(1998)以松山機場跑道兩端測風儀之風速向量差達 15kts 為定義風切之標準，並以沿跑道方向的風速為定義輻散型或輻合型風切，研究顯示風切發生在午後(1200L~1800L)佔 53.7%。松山機場 5~9 月份是在一年中午後對流最旺盛的期間，有較高比例的輻合型風切，輻合型風切似乎與午後對流及太陽加熱有密切關係。

民航局有鑒於低空風切對飛機起降的威脅，於 2001 年 9 月 1 日在松山機場建置一套符合美國 FAA 第三代機場 LLWAS 系統。本文採用松山機場

台灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析 LLWAS 系統於 2001 年 9 月至 2002 年 8 月期間所觀測到的資料，來分析松山機場附近低空風切發生之時間特性，包括每天二十四小時低空風切發生之日變化和每月低空風切發生之季節變化，並以中度和強烈低空風切發生時，所出現的綜觀天氣類型加以分類，計分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型。以期了解松山機場低空風切在那一時段最常發生？每季發生概況？那些綜觀天氣類型最有利低空風切的發生？

二、 資料來源與研究方法

LLWAS 系統是由測風儀及處理器所組成的，它用以偵測並確認危害性低空風切，即時提供警訊給機場正在降落或起飛的航機。系統將風場資料轉換成一個風速的向量(u, v)，指向風流動的方向(即風的去向)，使用危害風切偵測分析演繹法 (UCAR,1992)。測量的單位以公尺/秒來表達，正 v 值表示磁北方向，而正 u 值表示磁東方向。

低空風切是指偵測到輻散順風(減速)(單位為 kts)超過或相等於預定參數值，利用任意三點測風儀資料，算出此三角形內的輻合輻散場，再與其他三角形遞迴運算，得出起降區低空風切警示資訊。由飛機因環境風場造成的增(減)速度程度來決定，當飛機順風(減速)從 15kts 至 29kts 或頂風(增速)大於 15kts 時稱為風切，減速大於 29kts 時稱為微爆氣流。當測風網內被偵測到跑道方向順風(減速)(runway-oriented loss)或頂風(增速)值(runway-oriented gain)超過預定參數值(kts)之風切情況時，系統則發佈風切警告。

LLWAS 系統在松山機場塔台設有文數字警告顯示器(Alpha-numeric Alarm Display; AAD)，如圖 1 右上角，系統在松山機場跑道與 10 跑道和 28 跑道向向外各延伸 3 哩之帶狀區域內，偵測到低空風切時，AAD 顯示器會自動發出警告，航管人員根據 AAD 顯示器上的文數字警告資料向飛行員提出警訊。另外，系統在松山航空氣象台設有圖形警告顯示器(Graphical Alarm Display; GAD)，如圖 1 下方，當 GAD 顯示器發出警告時，觀測員將該低空風切警

告資訊附註在觀測報告內。

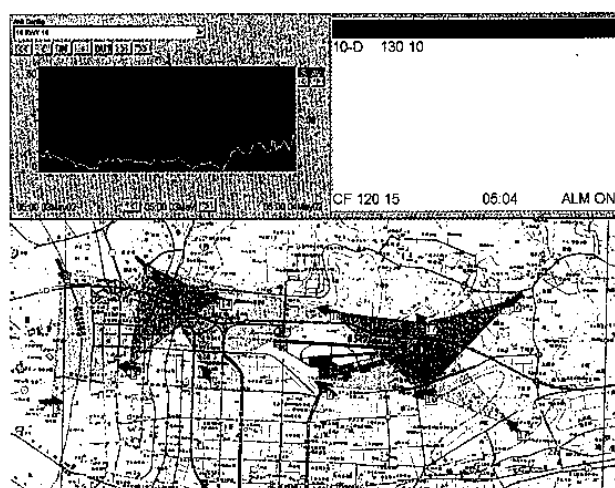


圖 1 松山機場圖形警告顯示(GAD)和文數字警告顯示(AAD)(右上角)圖，圖中箭頭代表遠端測風台之風向，箭頭旁方塊數字代風速(kt)，三角形陰影表示低空風切警示區。

LLWAS 系統沿著松山機場跑道向外延伸 3 海哩和跑道中段共設有 13 個遠端測風台，系統會將每一測風台所觀測的風場資料換算為跑道方向($100^{\circ}\sim 280^{\circ}$)之分量，計算跑道兩端進場或離場航道方向之頂風(增速)或順風(減速)強度，來偵測位在跑道或跑道兩端離到場 1~3 海哩的低空風切或微爆氣流情形。低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸 3 海哩等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度來決定，根據 FAA 風切強度為標準，當頂風(增速)或順風(減速)數值介於 15~19kts 時，表示有輕度低空風切；介於 20~29kts 者稱之為中度風切；大於 29kts 者稱之為強烈風切，其中順風(減速)大於 29kts 者稱為微爆氣流。

LLWAS 系統 13 個遠端測風台係以 13 個遠端測風台風場 10 秒鐘平均數用來計算松山機場是否有低空風切的發生，低空風切發出警告一次代表十秒鐘，警告時間是次數 $\times 10$ 秒，可以時間長短來呈現，比較有具體的概念。系統係以每 10 秒的週期，即時(real time)更新風場資料，遇有低空風切發生時，系統會發出警告一次，所以本文低空風切次數乘以 10 秒就是低空風切發生之時間長度。

三、 研究結果

(一) 低空風切之月變化

2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場發生輕度、中度和強烈低空風切之次數計有 18115 次，總共發生時間有 181,150 秒(或有 3,019.17 分鐘；或有 50.32 小時)，其中輕度低空風切有 8284 次佔 45.7%；中度者有 9122 次佔 50.4%；強烈者有 709 次，發生強烈風切之時間有 7090 秒(或有 118.17 分鐘；或有 1.97 小時)佔 3.9%。顯示松山機場發生低空風切，輕度和中度者分別約佔四成五和五成，發生強烈者甚少，約佔零點四成，雖少但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。

松山機場發生低空風切，按月分析，以 2001 年 9 月為最多，佔 25.2%；2002 年 5 月和 7 月次之，前者佔 18.9%，後者佔 15.6%；2001 年 10 月和 2002 年 4 月再次之，10 月佔 10.6%，4 月佔 11.0%。2002 年 3 月有和 8 月再次次之，分別佔 6.9%和 5.2%。2001 年 11 月至 2002 年 2 月和 6 月，發生低空風切甚少，皆在 2.0%以下，且極少甚至無強烈低空風切發生，如圖 2。

就松山機場低空風切發生時的綜觀天氣屬性加以分析，2001 年 9 月受到低壓、東北季風、兩個颱風納莉(Nari)和利奇馬(Lekima)以及熱帶性低壓等影響，松山機場發生低空風切的次數最多。2002 年 5 月受東北季風和鋒面過境等影響，7 月受到兩颱風雷馬遜(Rammasun)和娜克莉(Nakri)颱風以及夏季西南季風引發機場午後雷雨等影響，造成松山機場低空風切次多之原因。2001 年 10 月受到颱風海燕(Haiyan)外圍環流、東北季風和鋒面等影響，2002 年 4 月受東北季風之影響，有再次次多的低空風切發生。3 月受鋒面和東北季風等影響，8 月受熱帶性低壓、颱風露莎(Rusa)以及夏季西南季風引發機場午後雷雨等影響，也有為數不少的低空風切發生。2002 年 6 月受西南季風和鋒面過境影響，但六月東北季風減弱，鋒面過境減少，西南季風剛增強，又沒有颱風侵襲，所以 2002 年 6 月低空風切發生的次數變少。2001 年 11 月至 2002 年 2 月受東北季風或鋒面過境的影響，偶有低空風切發生，但

都無強烈低空風切產生。

以上分析顯示松山機場夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

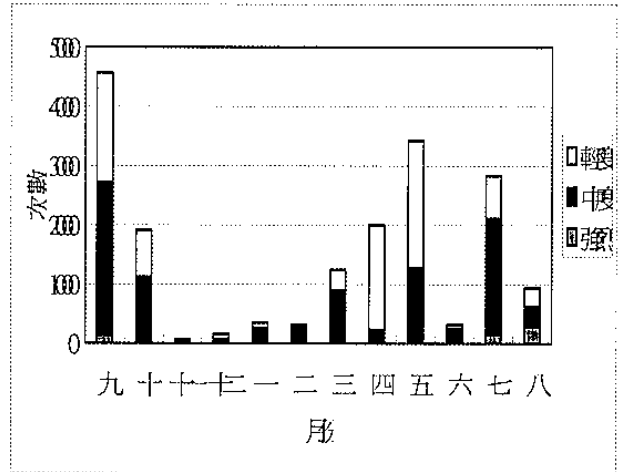


圖 2 2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場低空風切強度與次數之月變化。橫座標為月份，縱座標為低空風切發生次數。

(二) 低空風切之日變化

松山機場發生低空風切，按日變化分析，以每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率在 6.3% 以上，其中以上午 11 時至下午 15 時發生頻率大於 9.0% 為最高；上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之，亦有 3.1% 和 3.3%。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率小於 2.1%，如圖 3。概 1992~2001 年松山機場平均風速日變化，每天中午 12 時至下午 17 時平均風速大於 7.5kts，風速達最高值；清晨 1~7 時平均風速在 4.5kts 以下。松山機場每天上午 9 時至下午 18 時溫度日變化大於日平均值(22.5°C)，上午 11 時至下午 15 時溫度達最高值；下午 19 時之後至翌日上午 8 時溫度低於日平均值，尤以上午 5~6 時溫度達最低值(蒲, 2001)。顯示台北盆地白天太陽輻射受熱，大氣下層變成不穩定層，產生熱對流而形成亂流；再加上盆地局部高溫，空氣輻合上升，海風分別來自基隆河口和淡水河口，增強了松山機場之風速，且常造成跑道兩頭風向的不一致性，所以白天較晚間之低空風切為多之原因。可見松山機場低空風切的產生相對於溫度和風

台灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析場的日變化有關，溫度高且風速大，容易產生低空風切。

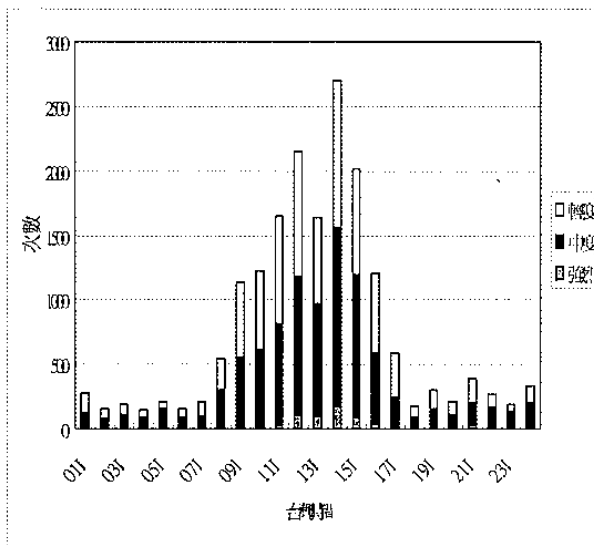


圖 3 2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場低空風切強度與次數之日變化。橫座標為台灣地方時，縱座標為低空風切發生次數。

(三) 低空風切之天氣類型

本文就中度以上低空風切發生時，所出現的綜觀天氣類型加以分類，計分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型。

2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，可分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型，各佔 17.8%、46.0%、12.1%和 24.2%，如圖 4。強烈低空風切計有颱風環流型於 2001 年 9 月 16、17 日(納莉颱風)、26 日(利奇馬颱風)、10 月 16 日(海燕颱風)、2002 年 7 月 4 日(雷馬遜颱風)和 8 月 1~3 日(熱帶性低壓)；東北季風型於 2001 年 10 月 11 日、2002 年 3 月 8、10 日、4 月 9 日、5 月 5、12 日；鋒面過境型於 2002 年 3 月 22 日、5 月 8 日；西南季風型於 2002 年 6 月 2 日和 11 日、7 月 6、16、17、19、28、29、31 日和 8 月 12、13、18 日等日期發生。其中西南季風型、颱風環流型、東北季風型和鋒面過境型等發生強烈低空風切則分別佔 53%、34%、7%和 7%。顯示松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型

再次之，鋒面過境型較少。但發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型之次數為最多、颱風環流型次之、東北季風型和鋒面過境型再次。

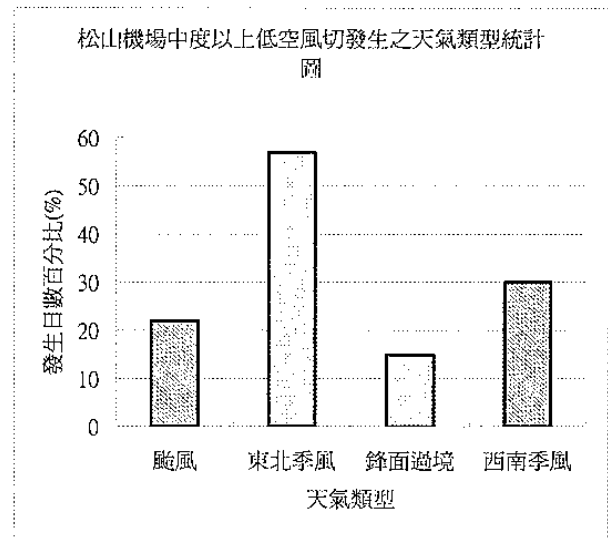


圖 4 2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，縱座標為發生日數之百分比。

四、 討論

本文顯示松山機場發生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。強烈風切大部分在雷雨中或颱風侵襲下所造成，雖然發生強烈低空風切甚少，但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。

江等(1998)研究顯示松山機場 5~9 月份有較高比例的輻合型風切，因為 5-9 月份正是在一年中午後對流最旺盛的期間，因此輻合型風切似乎與午後對流及太陽加热的關連更加密切。本文研究結果認為夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

江等(1998)研究認為松山機場以跑道兩端測風儀之風速向量差達 15kts 為風切定義標準，以及以沿跑道方向的風速為定義輻散型或輻合型風切標準，風切發生在午後(1200L~1800L)佔 53.7%。本文研究顯示松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15

台灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析時發生風切頻率為最高(合計頻率 56.4%)，在午後(1200L ~1800L)松山機場風切發生有更高的頻率(58.0%)，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。松山機場白天太陽輻射受熱，大氣下層變成不穩定層，產生熱對流而形成亂流，與 Arya(2001)研究一致。

LLWAS 是機場重要的基礎建設之一，對航空氣象相當重要，本研究可使 LLWAS 發揮更大的附加效用，期能進一步提升飛安，並加強國家的競爭力。本文透過對松山機場低空風切發生時間之特性與天氣類型的了解，可使機場觀測及預報人員對低空風切有更進一步的了解，對低空風切的診斷、預報將有所幫助。

微爆氣流與低空風切對飛航安全的危害甚大，對於其產生原因及各種動力相關過程的瞭解，進而找出有效預報方法，就是相當迫切且必要的工作。然而，由於微爆氣流發生的時間及空間尺度一般來說都相當的小，時間尺度上通常一個個案從發生到結束只有數分鐘到數十分鐘，而空間尺度也只有數公里而已(Mahoney, 1994)，因此，在現階段使用數值模式來預報的困難度較大。目前較可行的方式是加強觀測系統，從觀測資料的分析中，研判機場附近是否會有微爆氣流或低空風切的發生，以便及早提出警告，供相關人員採取因應措施。未來將進一步從強烈風切或微爆氣流的個案中，選取幾個案比較具有代表性的，來進行個案的中尺度大氣條件的探討，把個案時間發生前、發生時和發生後探討其探空特性、穩定特性、都卜勒雷達風場特性，機場低空風切時風場變化與都卜勒雷達風場加以比對，並進行數值模擬的工作，以便對低空風切或微爆氣流的細部結構以及發展過程的細部時間變化有所瞭解，進而可以對形成低空風切或微爆氣流的機制、下降運動加強的原因等動力過程上的探討有所瞭解與掌握。最後，以期能找出一些對預報人員有實質幫助的預報技術。

五、 結論

本文研究結果如下：

(一)、松山機場發生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。雖然發生強烈低空風切甚少，但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。

(二)、松山機場夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

(三)、松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15 時發生風切頻率為最高，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。

(四)、松山機場發生低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型再次之，鋒面過境型較少。其中發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型之次數為最多、颱風環流型次之、東北季風型和鋒面過境型再次。松山機場雷雨陣風、颱風強陣風、鋒面過境風場改變大以及強烈東北季風都是引發低空風切之主因。

致謝

本文在國科會專題研究計畫(NSC90-2111-M-117-001)支援下完成，特此申謝。作者感謝民用航空局飛航服務總台提供松山機場 LLWAS 系統觀測資料，飛航服務總台北航空氣象中心預報員陳海根、張翠分、林慧娟、黃光遠及林金輝等同仁、台北航空氣象台台長童茂祥先生協助處理資料。

參考文獻

- 江天錚、汪庭安、蒲金標和楊正治，1998：松山機場低空風切類型及產生機制之研究。民航局專題研究報告，93pp。
- 蒲金標，2001：台灣北部和南部氣壓日變化之分析研究。大氣科學，29,191-202。
- 蒲金標，2003,6：台灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析。大氣科學，第三十一期，第二號，181~198 頁。

Arya,S.P.,2001 : Introduction to
Micrometeorology , Second Edition ,
Academic Press , 420pp.

Expansion LLWAS (Phase III) , Algorithm
Specification , University Corporation for
Atmospheric Research , 51pp.

UCAR,1992 : Appendix A&B , Network

The the Diagnosis of Low-level wind Shear at Sungshan Airport in Taiwan

Chin-Piao Pu

**Air Navigation and Weather Services, Civil Aeronautics Administration,
Ministry of Transportation and Communication**

Abstract

CAA's Low-Level Wind shear Alert System (LLWAS) at Sungshan Airport has been in operation since September 2001. In this study, the LLAWS data for the time period September 2001 - August 2002 are used for analyzing and discussing the occurrences of low-level wind shear. The statistics shows that the most of the observed low-level wind shear warnings at Sungshan Airport are categorized either light or moderate with just about the same percentage of occurrence. Severe wind shear warnings were relatively rare.

There are four major weather types systems, typhoons and afternoon thunderstorms occurred in the summer (June-August); typhoons, northeast monsoons, and frontal passages occurred in the early fall (September-October); and northeast monsoon and frontal passage occurred in both winter and spring (November-May) that are with the occurrence of low-level wind shear.

The hourly statistics of low-level wind shear at Sungshan Airport indicates that the hourly occurrences between 9AM and 4PM are above average. The highest occurrences are between 11AM and 3PM, followed by occurrences at 8AM and 5PM. Between 6PM to 7AM the next day, the frequency of low-level wind shear occurrence are the lowest.

The weather types associated with moderate and severe low-level wind shear warnings at Sungshan Airport are categorized as northeast monsoon type (for the most cases), southwest monsoon type (for the modest cases), typhoon circulation type, and frontal passage type (for the fewest cases). However, as for severe low-level wind shear cases alone, the weather types in descending order are southwest monsoon type, typhoon circulation type, northeast monsoon type, and frontal passage type. In summary, major causes of low-level wind shear warnings at Sungshan Airport, in descending order of occurrences, are thunderstorm gusts, typhoon gust, significant wind shift during frontal passages, and strong northeast monsoons.

Keywords : Low Level Wind shear Alert System, Low Level Wind Shear, Frontal passage type, Northeast monsoon type, Typhoon circulation type, Southwest monsoon type, Microburst.