

東北季風影響松山機場低空風切之個案觀測分析

蒲金標^{1,2} 徐茂林²

¹國立臺北教育大學自然教育學系 ²貝氏卡曼科技股份有限公司

摘 要

本文利用 2013 年 2 月 24 日東北季風影響松山機場低空風切之個案觀測，就機場跑道兩頭(R10 和 R28)之風速和氣壓等跳動情形，與機場低空風切發生時段加以分析和比較。

研究結果顯示在強勁東北季風影響之下，機場風切發生時段，機場風速大，風速和氣壓跳動幅度也大。機場風速和氣壓跳動超過 1σ 之時段和次數與機場風切發生時段和警告次數，兩者有相當一致性。機場出現最大陣風(30-35KT)的前後約 5 分鐘，風切系統可能發出中度或強烈風切警告；或者強烈風切警告發出前後約 5 分鐘，機場會有強的風速和氣壓跳動；或者機場出現強的風速和氣壓跳動的前後約 5 分鐘，風切系統都可能發出風切警告。本研究成果可提供研發機場低空風切簡易警告系統之參考。

關鍵詞：東北季風、低空風切

一、前言

機場低空風切(Low-level Wind Shear)或微爆氣流(Microburst)對飛航安全構成最嚴重威脅。由於低空風切發生在最低層 500m(1,600ft)以下，風向或風速之突然變化，對飛機起降階段而言，則特別重要。當飛機在爬升離場和降落進場階段，飛機速度和高度都接近臨界值，飛機容易遭受風切的危險。

風切乃指大氣中單位距離內，風速或風向或兩者同時發生之突然大變化，如以數學式表示，則 風切= $\Delta \vec{v} / \Delta s$

$\Delta \vec{v}$ 及 Δs 分別代表風向量變化及產生變化之距離。其風切可分為水平風切或垂直風切。

風切是非常複雜的且很難預測的小尺度氣象現象，它所造成的風場變化可能是緩慢的，也可能是快速和突然的。強烈的順風和逆風可以在瞬間變弱或變強，引發低空風切的發生。飛機在起飛和降落過程，要經過逆風、順風和下降氣流的風場。目前還沒有一個成熟的科學依據，可對低空風切做精確的預報，因此，及時監測風切現象的發生，提供給飛行員注意，就特別重要。

美國聯邦航空總署 (FAA) 和 UCAR(1992)開發了第三代低空風切警告系統(Phase-III LLWAS)，該系統在跑道兩旁離中心線 1 海浬和跑道兩端向外延伸 3 海浬範圍內建置數十個測風塔。當數十個測風儀中的一個，觀測到風場和所有測風儀的平均風場有每小時 15 海浬的差值時，就有可能有風切現象，系統即時發出風切警告。另一個情況就是資料處理的結果，發現有輻散(divergence)的風場，也會發出風切的警報。其原理是以任三具測風儀為頂點，兩兩連線形成一個三角形的區域，將測風儀量測到的風速與風向經由電腦做內差與平滑化處理，形成該區域的向量風場。對該區域的向量風場取輻散度(divergence)，其物理意義為描述該區域內部氣流對區域邊界之假想平面向外或向內流動的通量趨勢，即氣象領域對某區域風場「輻合」與「輻散」現象的量化描述。其物理公式如式(1)。

$$\Delta = \text{div} = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y \quad (1)$$

松山機場 LLWAS 系統沿著機場跑道向外延伸 3 海浬和跑道中段共設有 13 個遠端測風塔，系統會將每一測風塔所觀測的風場資料換算為跑道方向(100°~280°)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 海浬的低空風切或微爆氣流情形。松山機場低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸 3 海浬等區域方向之頂風(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。

機場風場觀測係以十分鐘平均數，提供給機場以外的國內外單位使用，另外以風場兩分鐘平均數僅提供給塔台管制員和飛機駕駛員起降使用。松山機場 LLWAS 系統 13 個遠端測風塔，係以 13 個遠端測風塔風場 10 秒鐘平均數，用來計算機場是否有低空風切的發生，即低空風切發出警告一次代表 10 秒鐘，警告時間是次數×10 秒，可以時間長短來呈現，比較有具體的概念。松山機場 LLWAS 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。

國際民航組織 (ICAO, 2005) 指出 LLWAS-III 系統監測低空風切的準確率可達 90%，但仍有 10% 的誤報率。陳與袁 (2014) 使用診斷數學模式和測風儀，來克服 LLWAS 無法監測的「盲區」。我國民用航空局於 2001 年 9 月 1 日於松山和桃園國際機場各建置一套符合美國 FAA 第三代機場低空風切警告系統(Phase-III LLWAS)，原本要在高雄國際機場建置同樣規格的低空風切警告系統，後因該機場 06 跑道靠海，腹地不足，無法建置而放棄。

國際民航組織文件低空風切手冊(Doc 9817-AN1449)提到氣壓感應(微型氣壓計)裝設在機場週遭來偵測陣風鋒面冷空氣等所引起的氣壓跳升(pressure jump)，在某些情況下，可偵測到陣風鋒面的時間比地面測風所測到的時間，提早 3 分鐘。這種地面風場和氣壓的組合曾經測試，但是尚未應用到 LLWAS 系統。

Wakimoto(1982)認為陣風鋒面(guest front)經過測站，常帶來氣壓上升和氣溫下降、風向突變以及風速突增的現象，這種現象是造成低空風切主要原因之一。Viana et al.(2007)曾以小尺度和短時間之地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性，將地面氣壓跳動光譜特性與亂流加以比較。蒲(2003)認為松山機場雷雨陣風、颱風強風、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。何等(2005)研究顯示松山機場無論在強盛西南風盛行或結構完整的鋒面影響時期，其低空風切皆集中於風向 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 間發生。蒲等(2014; 2015)顯示當大氣發生劇烈變化時，其風速和氣壓等觀測值，會產生大幅度的跳動現象，而其大幅度跳動現象，可能與低空風切發生有其關聯性。在雷雨陣風鋒面來臨和大雷雨引發氣壓跳升現象發生時，透過風速和氣壓超過 1 個標準差(standard deviation)時，能偵測到低空風切現象的發生。通常氣壓突降或跳升現象，升降幅度越大，低空風切越強。蒲等(2015)

分析颱風暴風圈侵襲期間機場低空風切警告系統發出風切警告之時段和次數，與風速和氣壓等跳動超過 1σ ，彼此有相當一致性。

本文嘗試以 2013 年 2 月 24 日東北季風影響松山機場低空風切之個案觀測，分析風速和氣壓每分鐘跳動超過 1 個標準差之時段與次數，與現有松山機場低空風切警告系統發出風切警告加以分析比對，或許可以找出以氣壓跳動來替代風塔觀測風場之計算風切方式。

二、資料來源和研究方法

本文資料採用民航局松山機場低空風切警告系統(LLWAS-III)，2013 年 2 月 24 日風切警告資料(每 10 秒擷取風塔風速)、松山機場地面觀測報告(801C)(定時和特別觀測)和地面自動化測報系統(Automatic Weather Observation System; AWOS)(每秒一筆資料)以及日本氣象協會地面天氣圖等資料。其中低空風切警告系統係以每 10 秒計算是否有風切現象，換言之，每 10 秒發布 1 次是否有風切警告。而機場 AWOS 系統之風速和氣壓雖然都是每秒紀錄，但是氣壓是每分鐘觀測變動，略有不同。為便於分析機場風切現象，本文以機場低空風切系統每 10 秒時間尺度為主。所以本文每秒風速超過 1σ 之次數除以 10；氣壓每分鐘超過 1σ 之次數乘以 10 倍，以與 LLWAS 發出警告次數一致。

機場在穩定大氣之下，一般氣象要素如氣壓等觀測，其每秒前後觀測數值跳動幅度，通常是在一定範圍內，若跳動範圍是近似於常態分布的機率分布，約 68%數值分布在 1 個標準差之內。在不穩定大氣之下，該等氣象要素跳動大，可能會超出 1 個標準差。本文嘗試就松山機場風速和氣壓每秒或每分鐘前後觀測跳動範圍超出 1 個標準差之次數與機場低空風切發生次數加以比較。

$$X_i = Y_i - Y_{i-1}$$

Y_i 代表這一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。 Y_{i-1} 代表前一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。

X_i 代表這一秒或這分鐘與前一秒或前一分鐘氣象要素之觀測差值(跳動值)。

再就氣象要素跳動觀測值($X_i \neq 0$)，取固定的標準偏差。標準偏差(σ)計算公式，如下列：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

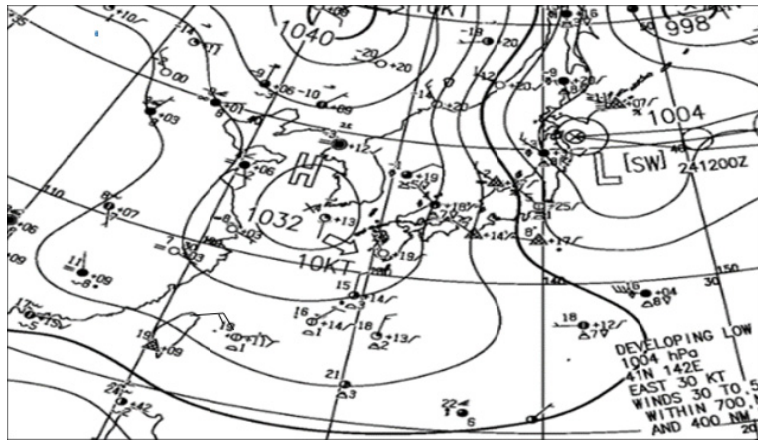
$n=86400$ 秒(一天 24 小時)

其中僅就氣象要素跳動值不等於零($X_i \neq 0$)之部分加以計算。

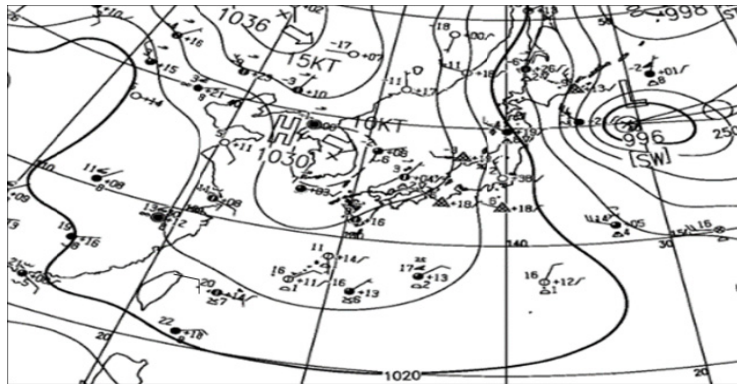
本文根據松山機場地面自動測報系統(AWOS)，以跑道兩頭(R10 和 R28)地面自動測報每秒或每分鐘資料，嘗試以 2013 年 2 月 24 日東北季風期間，分析機場跑道兩頭之風速，以及風速和氣壓等跳動(fluctuation) 超過 1σ 之幅度和次數，與機場低空風切警告系統發出風切警告次數和發生時段加以比較。

三、低空風切警告

2013 年 2 月 24 日 0000Z，分裂高壓(1032hPa)從中國長江口和山東間出海，移進黃海，整個高壓向南延伸經臺灣至巴士海峽，臺灣位在等壓線密集區，氣壓梯度大，如圖 1a。松山機場 0000Z 海平面氣壓為 1023.37hPa，R10 和 R28 於 0000-1000Z 吹東風，平均風速由 15KT，逐漸增強至 22KT，最大陣風高達 20-32KT，其中於 0000-0800Z 平均風速頻頻出現 18-22KT，最大陣風 25-32KT。機場低空風切系統在 0100-0700Z 期間每小時發出 17-51 次風切警告，其中中度風切(當頂風/增速或順風/減速數值介於 20~29KT)為 5-35 次；風切系統於 0255-0257Z 間還發出 6 次強烈風切警告(大於 29KT)。另外，在 0800Z 風切警告系統雖然沒有發出風切警告，但是氣象台根據飛行員報告，天氣報告仍有風切紀錄，如圖 2 和圖 3。



(a) 0000Z



(b) 1200Z

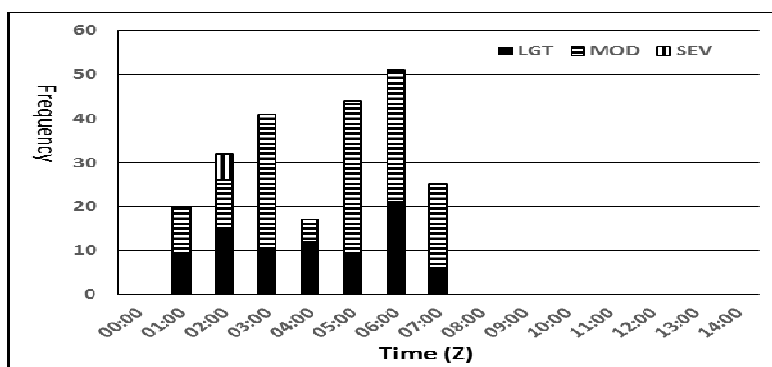
圖 1. 2013 年 2 月 24 日冬季東北季風期間地面天氣圖。(a) 0000Z (b) 1200Z (摘自日本 JMA)

Figure 1. The surface weather chart in the period of the strong NE Monsoon on 24 February, 2013. (a) 0000Z (b) 1200Z (From JMA)

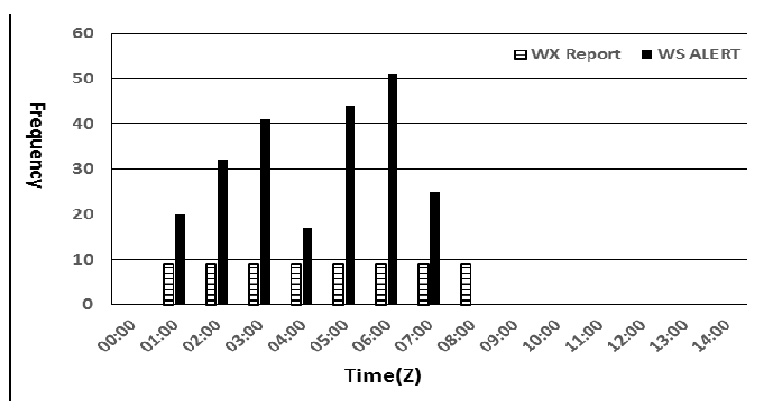
24 日 1200Z 分裂高壓中心(1030hPa)移至南韓，臺灣處於高壓西緣，氣壓梯度逐漸變小，如圖 1b。1200Z 松山機場海平面氣壓降為 1018.97hPa，1200-2300Z 機場東風減弱，平均風速和最大陣風分別逐漸降至 15KT 和 20KT 以下，機場在 1000Z 之後，風切系統和氣象台天氣報告不再有

低空風切警告紀錄。

以上分析顯示，冬季東北季風期間，大陸分裂高壓出海，臺灣位在等壓線密集區，氣壓梯度大，當機場平均風速和最大陣風分別增強至 15K 和 20KT 以上，就會引起松山機場低空風切的發生。



(a)



(b)

圖 2. 2013 年 2 月 24 日松山機場低空風切警告系統發布風切次數和氣象台風切報告。

(a)風切系統輕度風切(黑色)、中度風切(橫條)和強烈風切(縱條)

(b)風切系統逐時警告次數(黑色)與氣象台逐時風切報告(橫條)之分布。

註：1. WS R10 表示 10 號跑道有風切。

2.當頂風(增速)或順風(減速)數值介於 15 ~19kts 時,表示有輕度風切;介於 20~29kts 者稱之為中度風切;大於 29kts 者稱之為強烈風切。

Figure 2. The alert frequency of the wind shear from LLWAS and the report from weather station at Sung-Shan Airport on 24 February, 2013.

(a) The distribution timely of the frequency of light (black), moderate (horizontal bar) and strong(vertical bar) wind shear from LLWAS.

(b) The distribution timely of the alert frequency from LLWAS (black) and the report for weather station(horizontal bar).

Note: 1. WS R10 denotes Runway 10 has wind shear.

2. Light Wind Shear (LGT.) , head wind speed(gain speed) or tail wind speed(loss speed) is between 15~19kts ; Moderate Wind Shear (MOD.) , 20~29kts ; Server Wind Shear (SEV.) , >29kts.

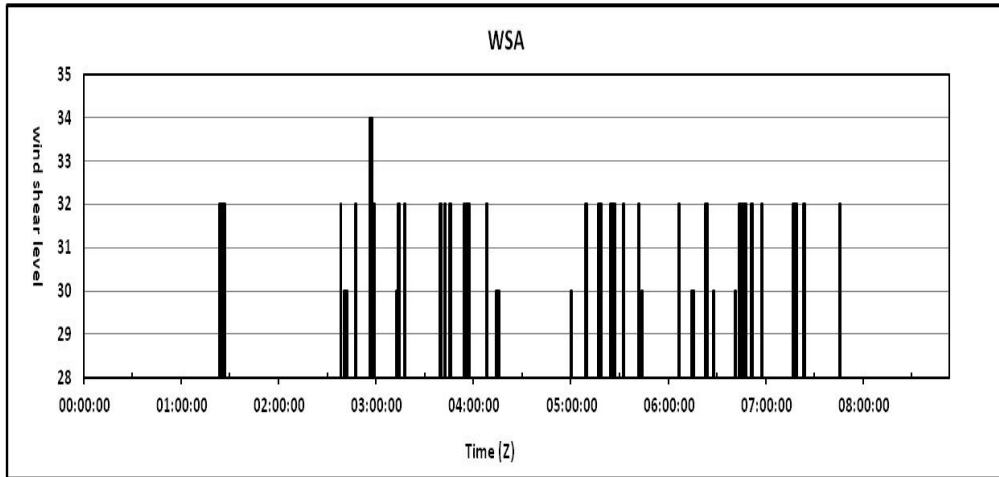


圖 3. 2013 年 2 月 24 日松山機場低空風切警告系統風切警告之時間分布。

風切警告等級：30 代表輕度風切、32 代表中度風切和 34 代表強烈風切。

Figure 3. The time distribution of the wind shear alert from LLWAS at Sung-Shan Airport on 24 February, 2013.

The alert level of wind shear : 30 denote light wind shear , 32 denote moderate wind shear and 34 denote wind shear.

四、機場地面自動測報資料

本節分析 2013 年 2 月 24 日東北季風期間，松山機場跑道兩頭(R10 和 R28)之風速超過 1σ ，以及風速和氣壓等跳動 (fluctuation) 超過 1σ 之時段和次數，同時與機場低空風切警告系統發出風切警告發生時段和次數加以比較。每秒風速超過 1σ 之次數除以 10；氣壓每分鐘超過 1σ 之次數乘以 6，以利與 LLWAS 發出警告次數比較。

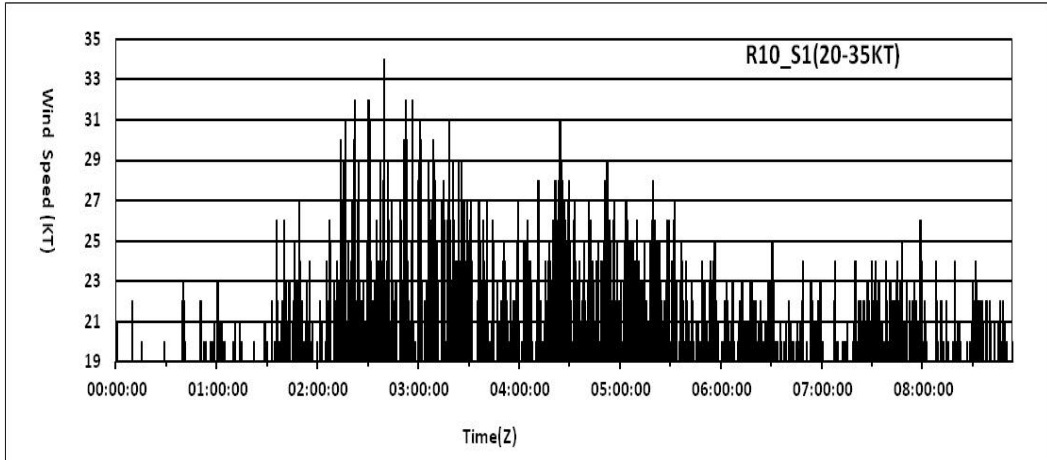
(一) 強風發生時段和次數

本節就 24 日 0000-1000Z 強烈東北季風期間，松山機場跑道兩頭 R10 和 R28 每秒最大陣風分成 20-29KT 和 30-35KT 等兩種強度，來分析其發生時段和次數(每 10 秒計為 1 次)。

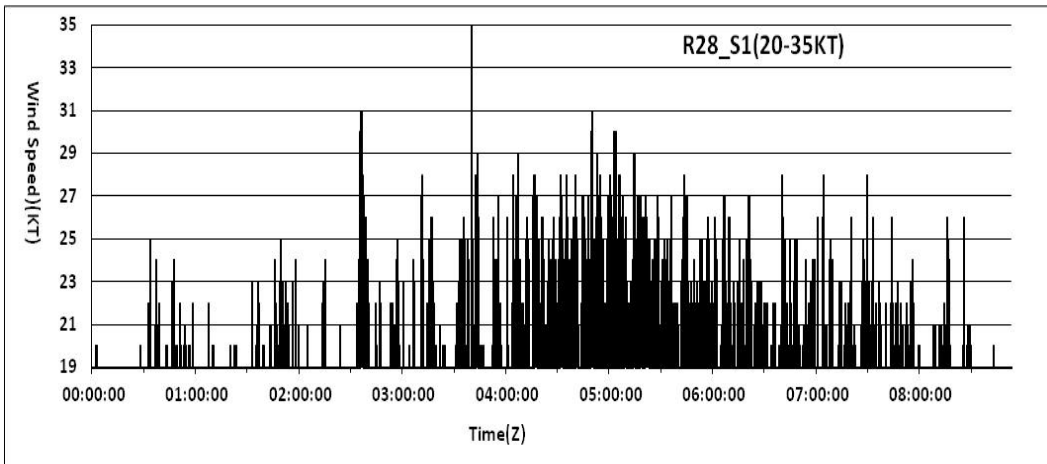
24 日 0000- 1000Z 強烈東北季風期間，松山機場 R10 於 0000-0900Z 最大陣風出現 20-34KT，每小時出現次數達 9-198 次。而 R28 則於 0000-0800Z 最大陣風出現 20-35KT，每小時出現次數達 13-206 次，其中 R10 或 R28 於 0200-0500Z 每小時出現次數達 100 次以上，R28 甚至於 0500Z 出現次數高達 206 次，如圖 4 和圖 5。另外，機場跑道兩頭出現強風(>25KT)時段不同，強風開始時段，R10(於 0135-0759Z)於比 R28(於 0235-0825Z)於提早 1 小時；結束時段提早 26 分鐘。跑道兩頭最大陣風超過 29KT 之時段有落差，前者(於 0213-0424Z)比後者(於 0235-0503Z)提早 22 分鐘，也提早結束 39 分鐘；其中最強陣風(R10, 34KT; R28, 35KT)出現時間前者(0239Z)比後者(0340Z)提早 61 分鐘。顯見松山機場在強盛東北季風影響之下，強風分布不均勻且

出現時段有落差。機場風切警告系統於 0100-0700Z 發出 20-51 次風切警告，於 0255-0257Z 還發出 6 次強烈風切警告，R10 於 0239Z 出現最大陣風 34KT 和 0251-0256Z 出現最大陣風 30-32KT。此外，R28 於 0340Z 出現最大陣風 35KT，風切警

告係於 0339Z 發出中度風切警告。機場氣象台也於 0100-0800Z 發布 R10 風切報告。也就是這段時間除了 0000Z 和 0900-1000Z 機場沒有出現風切之外，其餘都有風切發生，如圖 3。



(a)



(b)

圖 4. 2013 年 2 月 24 日松山機場地面自動測報跑道每秒風速>19KT 之時間分布。

(a) R10 (b) R28

Figure 4. The time distribution of the secondly wind speed (>19KT) of from AOWS at Sung-Shan Airport on 24 February, 2013. (a) R10 (b) R28

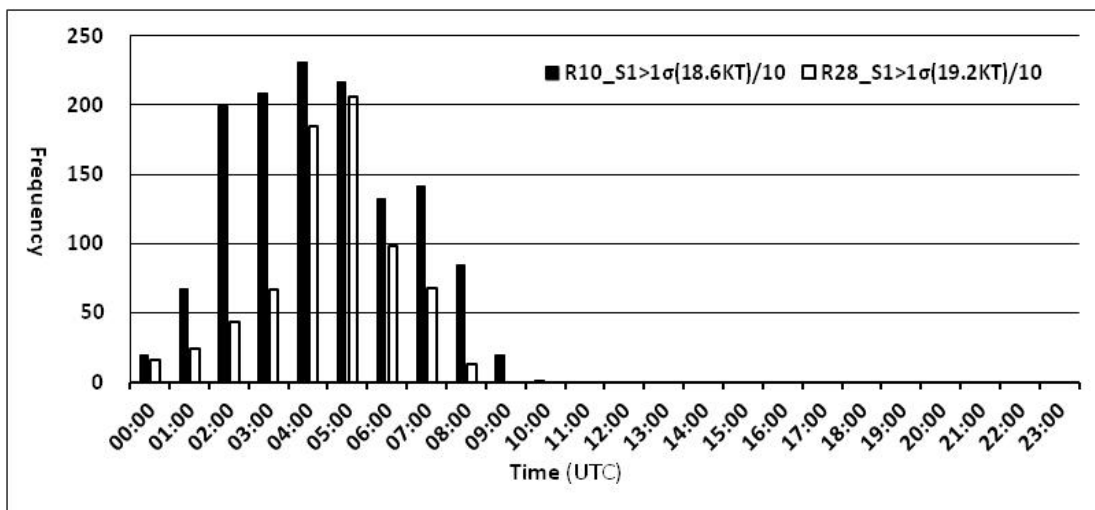


圖 5. 2013 年 2 月 24 日松山機場地面自動測報跑道 R10(黑色實心)和 R28(黑色空心)風速 (20-35KT)之逐時發生次數分布。(每 10 秒計 1 次)

Figure 5. The frequency distribution of the runway R10(black solid) and R28 (black hollow) wind speed(20-35KT) of from AOWS at Sung-Shan Airport on 24 February, 2013. (counted once by every 10 seconds)

東北季風減弱階段(1100-2300Z), 風速明顯減弱, 機場跑道兩頭 R10 和 R28 每秒風速都沒有超過 20KT, 這段時間機場低空風切現象就不再發生。

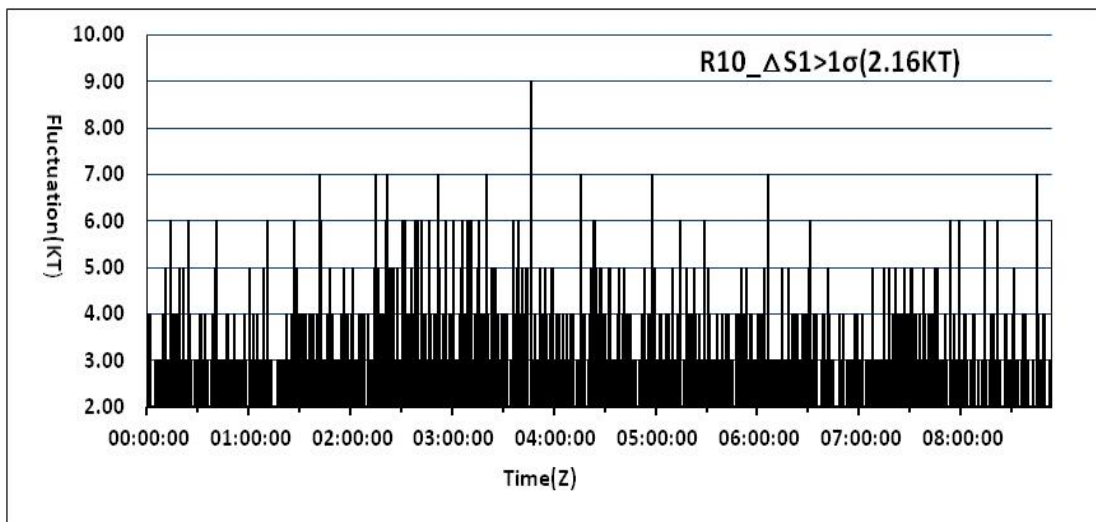
以上分析顯示松山機場在強盛東北季風影響之下, 跑道 R10 和 R28 強風分布不均勻且出現時段有落差。機場每秒風速超過 20KT 之時段和次數與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段和次數, 兩者發生時段非常接近一致。尤其是機場出現最大陣風(30-35KT)的前後 5 分鐘, 風切系統都發出中度或強烈風切警告。

(二) 風速跳動強度和次數

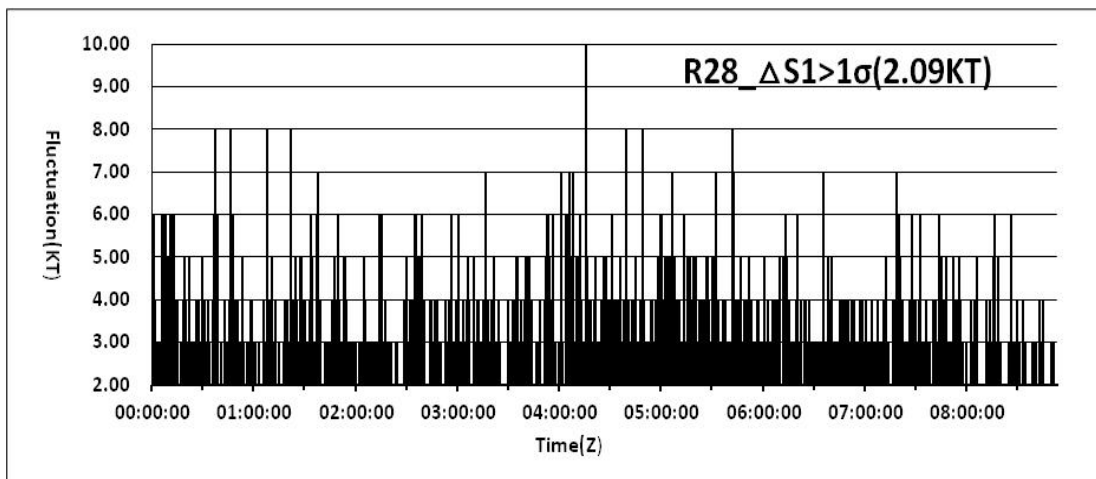
24 日 0000-1000Z 強烈東北季風期間, 松山機場 R10 和 R28 風速跳動超過

$1\sigma(2.16KT; 2.09KT)$, 其分布如圖 6。在機場風切現象發生期間(0100Z-0800Z), 風速跳動超過 6-10KT。其中 R10 於 0346Z 風速跳動達 9 KT, 風切警告系統於前 1 分鐘(0345Z)發出中度風切警告。另外, 風切警告系統於 0255Z-0257Z 發出強烈風切警告, 之前 4 分鐘(0251Z), R10 風速跳動達 7KT。再看, R28 於 0415Z 風速跳動達 10 KT, 風切警告系統於 0413-0415Z 發出輕度風切警告, 如圖 2a 和圖 3。另外, 在 0100Z-0800Z 風速跳動超過 1σ 之次數達 10-27 次, 風切警告系統則於 0100Z-0700Z 每小時發出 17-51 次, 氣象台也於 0100Z-0800A 發布風切報告, 如圖 2、圖 3 和圖 7。其中 R10 和 R28 分別於 0200Z 和 0400Z-0500Z 跳動次數達 26 次和 27 次之多, 風切警告系統

也於 0200Z 發出輕度風切 15 次、中度風切 11 次和強烈風切 6 次；於 0400Z 和 0500Z 每小時發出輕度風切 9-12 次和中度風 5-35 次。



(a)



(b)

圖 6. 同圖 4，風速每秒跳動 $>1\sigma$ 之時間分布。 (a) R10 (b) R28

Figure 6. The time distribution of the wind speed fluctuation per second($>1\sigma$), as same as figure 4.

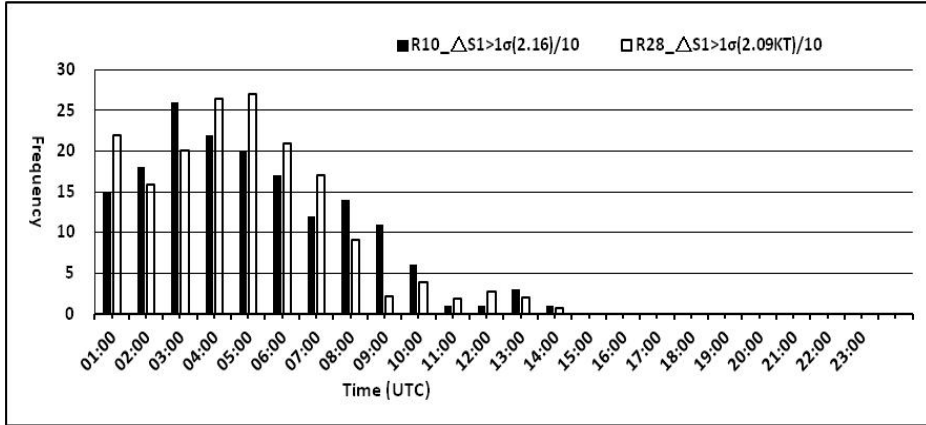


圖 7. 同圖 5，風速每秒跳動 $>1\sigma$ 之逐時發生次數分布，黑色實心表示 R10，黑色空心表示 R28。

Figure 7. The time distribution of the frequency of the wind speed fluctuation per second ($>1\sigma$) of R10 (black solid) and R28 (black hollow), as same as figure 5.

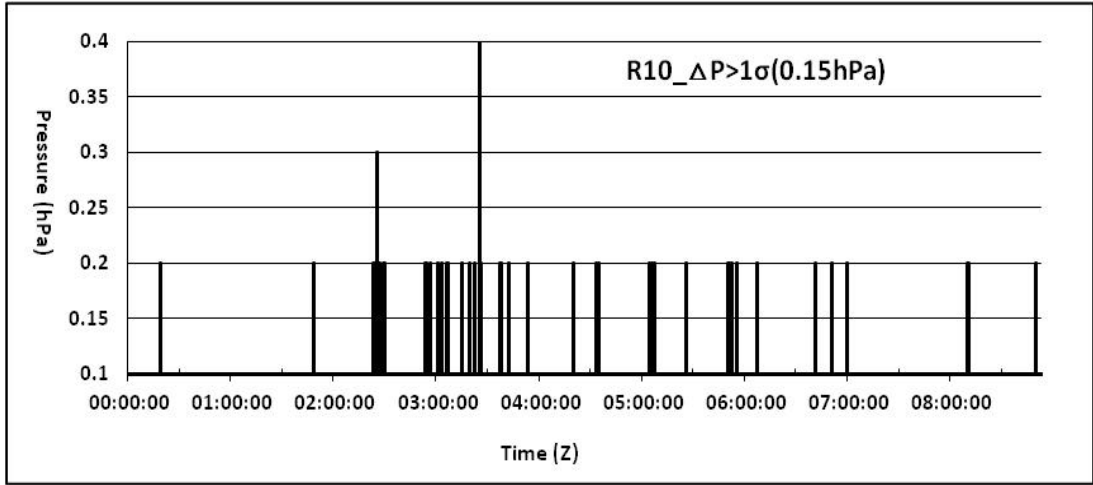
東北季風減弱階段(1100Z-2300Z)，風力已明顯減弱，機場跑道兩頭 R10(R28)於 1100Z-1300Z(1100Z-1400Z)每秒風速跳動仍有零星超過 1σ ，每小時發生次數為 1-3 次(1-3 次)間，但是這段時間機場低空風切現象就不再發生。

以上分析顯示機場風速跳動幅度大和次數多，風切強度強且次數也多；每秒風速跳動 $>1\sigma$ 之時段和次數與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段和次數，兩者發生時段近似一致。特別是機場出現最強風速跳動的前後 5 分鐘，風切系統都發出風切警告。

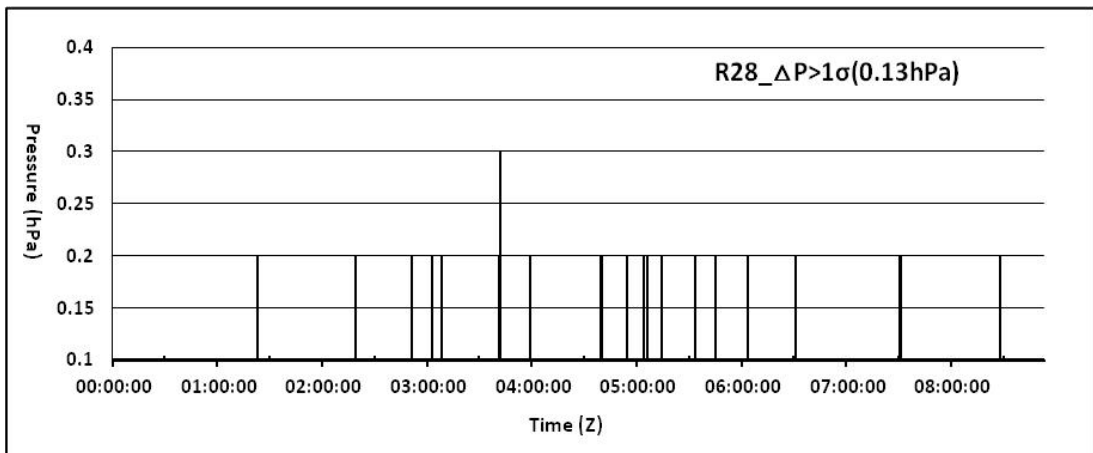
(三) 氣壓跳動超過 1σ 和次數

24 日松山機場 R10 於 0000-0900Z 和 R28 於 0100-0800Z 氣壓跳動超過 1σ (0.15hPa ; 0.13hPa)，其分布如圖 8。在機場風切現象發生期間(0100-0800Z)，氣壓跳動超過 0.2-0.4hPa。其中在風切警告系統

發出強烈風切發生時刻(0255-0257Z)前後 5 分鐘，R10 和 R28 氣壓跳動分別於 0253~0256Z 和 0251Z 出現 0.2hPa；同時，R10 和 R28 分別於 0325Z 和 0342Z 出現最強氣壓跳動 0.4hPa 和 0.3hPa 的前後約 5 分鐘，風切系統也於 0317Z 以及 0339Z-0342Z 和 0345Z 發出中度風切警告，如圖 3。另外，在 0100-0800Z 氣壓跳動超過 1σ 之次數達 6-78 次，風切警告系統則於 0100-0700Z 每小時發出 17-51 次，氣象台也於 0100Z-0800Z 發布風切報告，如圖 2、圖 3 和圖 9。其中 R10 於 0200Z-0300Z 氣壓跳動超過 1σ 之次數高達 54-78 次，風切警告系統也於 0200Z-0300Z 每小時發出輕度風切 10-15 次、中度風切 11-31 次和強烈風切 6 次(0255Z-0257Z)。R28 於 0300Z 和 0500Z 氣壓跳動超過 1σ 之次數達 30 次，風切警告系統也於 0300Z 和 000Z 每小時發出輕度風切 9-10 次和中度風切 31-35 次。



(a)



(b)

圖 8. 同圖 4，每分鐘氣壓跳動($>1\sigma$)之時間分布 (a) R10 (b) R28

Figure 8. The time distribution of the pressure fluctuation per minute($>1\sigma$) of R10 and R28 from AOWS, as same as figure 4. (a) R10 (b) R28

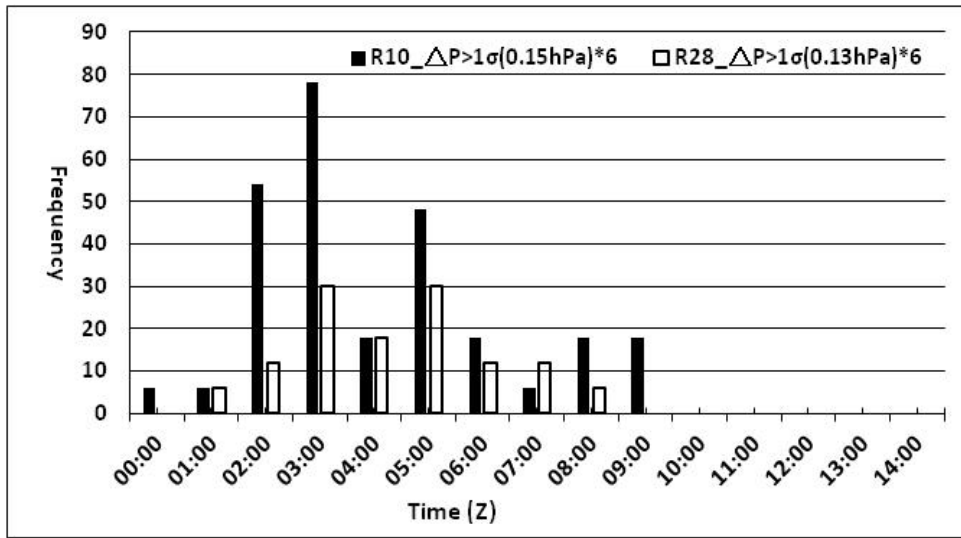


圖 9. 同圖 4, 氣壓跳動 (>1σ)之逐時發生次數分布。黑色實心表示 R10, 黑色空心表示 R28。
 註：氣壓跳動每分鐘超過 1σ 之次數乘以 6 倍。

Figure 9. The time distribution of the frequency of the pressure fluctuation (>1σ) of R10 (black solid) and R28 (black hollow) from AOWS, as same as figure 4.

Note: The frequency of the pressure fluctuation is multiplied by 6 times.

東北季風減弱階段(1100-2300Z), 風力已明顯減弱, 機場跑道兩頭 R10 和 R28 氣壓跳動不再超過 1σ, 這段時間機場低空風切現象也不再發生。

以上分析顯示機場氣壓跳動幅度大和次數多, 風切強度強且次數也多; 氣壓跳動超過 1σ 之時段和次數與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段, 兩者所發生時段相當一致。特別的是在強烈風切警告發出前後約 5 分鐘, 機場都有強氣壓跳動; 或機場出現最強氣壓跳動的前後 5 分鐘, 風切系統都發出風切警告。

五、討論

Bedard(1977) 研究顯示氣壓跳升 (pressure jump) 為每分鐘氣壓上升高過 0.169hPa, 這種氣壓跳升現象, 通常在雷雨陣風鋒面可以觀測到的現象。氣壓跳升的時間和幅度, 可以偵測到的是 3 分鐘內氣壓突然上升 0.5hPa。Shreffler and Binkowski(1981) 觀測到雷暴雨外流引發氣壓上升 1.5hPa。另外, Wakimoto(1982) 認為氣壓變化由降而升, 再由升而趨正常, 整個過程所需時間約為 15 分鐘, 雷雨發生, 短時間氣壓會有 5-7hPa 之變化。蒲等 (2015) 顯示颱風暴風圈侵襲期間松山機場氣壓每分鐘最大跳動幅度, 會有 +2.6hPa 或 -1.3hPa 之變化, 同時伴隨頻繁和強烈低空

風切發生。本文分析顯示亦然，在強烈東北季風期間松山機場氣壓每分鐘最大跳動幅度會有 0.3~0.4hPa 之變化，同時也伴隨頻繁中度低空風切發生。

Viana et al. (2007)以小尺度和短時間地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性。並分析標準差(σ)與亂流之相關，認為氣壓的跳動控制了風切現象的發生。蒲等(2015)與本文以氣壓跳動範圍超過 1 個標準差，其發生時段和次數與機場低空風切發生時段相當符合。同時，以風速和氣壓每秒或每分鐘跳動超過 1σ 之時段和次數，都能監測大部分低空風切現象(包含飛行員有風切報告)之發生，顯見以超過 1σ 為標準來偵測低空風切是可行的方法。

美國 FAA/LLWAS-III 系統以數十個測風儀中的一個觀測到風場與所有測風儀的平均風場有 15 KT 的差值時，就有可能有風切現象，系統即時發出風切警告。陳與袁(2014)使用診斷數學模式和測風儀，來克服 LLWAS 無法監測的「盲區」。他們以相鄰兩個測風儀所測得風速訊號相減值，代表跑道上的風速變化，風速變化量達 15KT，是輕度低空風切警報之發布標準。本文分析顯示在強勁東北季風影響之下，機場風切發生時段，機場風速大，風速和氣壓跳動都超過 1σ 。機場風速和氣壓超過 1σ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段有相當一致性。特別的是在強烈風切警告發出前後約 5 分鐘，機場都有強勁的

風速和氣壓跳動；或者機場出現強勁的風速和氣壓跳動的前後約 5 分鐘，風切系統都發出風切警告。

六、結論

本文利用 2013 年 2 月 24 日東北季風影響松山機場低空風切之個案，根據地面自動測報系統測報資料，就機場跑道兩頭 R10 和 R28 之風速和氣壓跳動等變動情形，分析其與低空風切之相關性，獲得下列成果：

- (一)在強勁東北季風影響之下，跑道 R10 和 R28 強風分布不均勻且出現時段有落差。機場風切發生時段，機場風速大，風速和氣壓跳動幅度大。
- (二)機場風速和氣壓跳動超過 1σ 之時段和次數與機場風切發生時段和警告次數，兩者有相當一致性。
- (三)機場出現最大陣風(30-35KT)的前後 5 分鐘，風切系統可能發出中度或強烈風切警告；或者強烈風切警告發出前後約 5 分鐘，機場會有強的風速和氣壓跳動；或者機場出現強的風速和氣壓跳動的前後約 5 分鐘，風切系統都可能發出風切警告。

七、致謝

本文在經濟部業界開發產業技術計畫「機場低空風切警告系統研發設計」(NextG/LLWAS)專案補助下完成。感謝本刊審查委員提供寶貴意見，感謝民用航空局飛航服務總台台北氣象中心提供松山機

場觀測和風切警告資料，感謝台北氣象中心前主任童茂祥、副主任陳海根、莊清堯和黃禹璵等先生的協助。

八、參考文獻

何台華、涂明聖、蒲金標及魏志憲，2005：
2002 年梅雨季桃園與松山機場低風切
之個案研究，大氣科學，33，119-142。

陳介中與袁曉峰，2014：低空風切警報系
統的改進，航空安全及管理季刊，1，
85-102。

蒲金標，2003：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，31，181-198。

蒲金標、徐茂林、游志遠及劉珍雲，2014：
台灣低壓鋒面與松山機場低空風切個
案研究，航空安全及管理季刊，1，
227-243。

蒲金標、徐茂林及游志遠，2015：2013 年
7 月 12-13 日蘇力颱風侵襲期間松山機
場低空風切 分析研究，大氣科學，
43，27-46。

Bedard, A. J. and H. B. Meade, 1977: The
Design and Use of Sensitive
Pressure-Jump Sensors to Detect
Thunderstorm Gust Fronts. Part I:
Pressure- Jump Detector Design. *J.
Appl. Meteor.*, **16**, 1049–1055.

ICAO(International Civil Aviation
Organization.), 2005: Manual on
Low-Level Wind Shear, 1st,

(<http://www.icao.int/safety/meteorology/METWSG/MeetingMetaData/METWSG.1.SN.006.7.en.doc>).

Shreffler, Jack H., and Francis S. Binkowski,
1981: Observations of Pressure Jump
Lines in the Midwest, *Mon. Wea. Rev.*,
10–12.

UCAR(University Corporation for
Atmospheric Research),1992 : Low Level
Windshear Alert System (LLWAS) ,
(<http://www.ral.ucar.edu/projects/llwas/>).

Viana, S. ,C. Yagüe, G. Maqueda and G.
Morales(2007) : Study of the surface
ressure fluctuations generated by waves
and turbulence in the nocturnal
boundary layer during SABLES2006
field campaign. *Física de la Tierra*,19,
55-71. Ed.Univ. Compl. Madrid.

Wakimoto, Roger M., 1982: The Life Cycle
of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed
with Doppler Radar and Rawinsonde
Data. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1060–1082.

Case Study of NE Monsoon Correlated Sung-Shan Airport Low-Level Wind Shear Analysis

Chin-Piao Pu^{1,2}, Morris Hsu²

¹ Department of Science Education, National Taipei University of Education.

² Bayes-Kalman Technology Inc.

ABSTRACT

In this study, we adopt a case study of NE monsoon correlated Song-Sang airport low level wind shear analysis, focusing on the correlation between wind speed and pressure fluctuations and the occurrence of low level wind shear phenomenon at the two thresholds, R10 and R28, of the runway.

The research results show that during the occurrence of low level wind shear under the influence of strong NE monsoon, the airport wind is strong. Meanwhile, the wind speed and pressure fluctuations are assumed to be approximately normal distribution. If their variations are more than one standard deviation, the wind shear phenomenon is likely to occur. The occurrence of the airport low level wind shear system alarm is coincident with the aforementioned conditions as well. The results also show that strong wind shear warnings are often issued within five minutes, before or after, of maximum wind gust (30-35KT) or large wind speed and pressure fluctuations. The results can be used as a reference to the development of airport low level wind shear warning system.

Key words: NE monsoon, low level wind shear