

# 噪音預測模式電腦軟體模擬方法選用準確性之研究

## A Study on Simulation Result Accuracy of Noise Prediction Software Using Various Models

劉 霈<sup>1</sup>、黃郁哲<sup>2</sup>、陳鎮邦<sup>3</sup>、黃競元<sup>3</sup>

<sup>1</sup>逢甲大學運輸科技與管理學系助理教授

<sup>2</sup>逢甲大學運輸科技與管理學系大三生

<sup>3</sup>逢甲大學運輸科技與管理學系研究生

### 摘 要

我國絕大多數環境影響評估報告及噪音防制工程評估報告均未將噪音預測軟體選用的資料庫參數及噪音預測模式的關係式詳列，也常常未見調校歷程的數值資料；以標準電腦作業產生的噪音預測結果推論複雜的環境現況往往會產生誤差，研究指出噪音預測模式的調校是有必要的，亦即須依預測地區的環境現況調整電腦軟體輸入參數以縮小預測結果與實測值的差距，但目前尚無國際公認的調校準則，國人習以三分貝差值做為是否需要調校的判定標準。

本研究係探討噪音預測電腦軟體輸入參數的調整與不同噪音預測方法的選用，對預測結果影響的程度，實證以國道一號、三號及四號路側噪音量測資料，使用環保署認可之CADNA-A電腦軟體進行高速公路交通噪音預測，將實測地點的環境及交通資料代入CADNA-A軟體，比較相同的輸入參數，兩種不同噪音預測方法所得的預測值與實測值，應用統計分析方法探討兩者預測結果是否具有明顯差異，以及提出不同噪音模式產生差異的原因，並且提出噪音預測模式電腦軟體的預測與校估作業程序及注意事項，期能對提升噪音預測軟體之預測結果有所助益。

**關鍵字：**CADNA-A、噪音預測模式、校估

### Abstract

Most environmental impact assessment reports and noise prevention assessment reports presented in Taiwan won't specify the noise prediction models adopted and input parameters used in their assessments. The intermediate data, if any, is also neglected in these reports. It is actually very difficult to use standard computerized formulas to accurately simulate noise condition under the complicated real world environment. Previous studies indicated that calibration is needed for better simulation results. That is adequately modify input parameters should give more accurate results. Nonetheless, there is no universally recognized standard for such calibration. Here in Taiwan, a 3 dBA difference is generally considered as the threshold for applying calibration.

In this study, roadside noise measurement along national expressway 1, 3, and 4 was simulated using CADNA-A noise evaluation software. Effects of calibration of input parameters, as well as effects of adopting different models, on simulated results were evaluated. Statistical analyses were then applied to check significance on difference of simulated results using different models. Causes of variations with different models are discussed in this paper. Meanwhile, a standard process for applying noise prediction computer software is proposed.

**Keywords :** CADNA-A, Noise Prediction models, modification

## 壹、緒論

近年我國為改善各地城鄉的差距，積極興建高速公路，西部高速公路路網陸續完成。開放通車後，龐大交通量伴隨而來的行車噪音，反引發沿線民眾抱怨。歷年民眾向環保單位陳情噪音污染案件超過 37,000 件，佔所有陳情案件的 31%，其中交通噪音又佔了 0.4228% (181 件)，雖然比例不大，相較工廠場、營建工程，交通噪音改善需要花費龐大的經費及長的時間，民眾的陳情迄今未曾間斷，行車噪音仍是政府單位感到較為棘手的環境保護課題(環保署，2006)。

道路交通噪音屬於線音源，受道路沿線的交通特性(交通量及交通管制)的影響甚巨，其中交通量會因時間、交通組成、方向分布、車道分布、地區及服務形式、旅行目的、幾何形式、交通管制方式變化而有差異，若對此變化的特性加以分析研究，可以瞭解各道路系統上的各種交通活動量(王文麟，1993)，有助掌握交通噪音傳播影響的道路沿線噪音分布狀況。不過，若要精確評估噪音影響的狀況，須每隔一定距離於虛擬方格的直線與橫線交叉處測量噪音，限於人力及經費無法大規模在影響面進行佈點測量噪音，各國遂發展出各種道路噪音預測模式，模式內容不外考量各種車輛噪音量、行駛車速變化，各時段交通量、路面材質及紋理深度、路形及高架、路堤、路塹等道路結構、路側反射物、道路與受影響地區距離衰減等情形。環保署發布「噪音振動評估模式技術規範」提供環境影響評估合理且適切的噪音預測模式，其中道路噪音預測模式包括了歐美日知名的電腦預測模式軟體，以及國內行之有年的經驗模式(中華民國音響學會，1999)，但這些噪音預測模式考量的準則多以當地環境為主，為求預測值趨近實測結果，進行噪音預測後，須再選擇數個地點量測噪音，驗證實測值及預測值的偏差，校估預測結果。

各式噪音預測模式電腦化後，可應用在工業區、公路、鐵路、機場或其他特定高噪音地區預測噪音影響範圍，因此可節省大量時間與人力，然而噪音預測軟體受限於內建資料庫的數量及其完整性，加上預測模式中所含音源、預測點及環境特性等音場變數的係數與相互運算關係也會影響噪音預測結果，故模式輸入變數及應用區位會影響到預測結果的準確性。例如德國發展的電腦軟體，內建車輛噪音關係式及參數來源可能偏重於歐洲車，台灣地區車輛卻多為日系車型，此外能否就道路結構(車道數改變、交流道、交叉路口等)變化取得交通流量及行駛速率調查資料也是影響預測值的主因，尤其是環境影響評估時，往往引用道路興建前預估交通量及服務水準，又因道路尚未興建或無法取得隔音設施設置後的減音效果，無法進行校估，無從確認預測結果的準確度(王世傑，2006)。噪音預測模式校驗證分析目的，係以實測之噪音數據及相關條件輸入噪音模式，藉由比較模擬值與實測值之差異，找出各模式噪音預測值的準確性和適用性(習良孝，1997)。調校應先詳加蒐集國內本土資料再應用國外噪音預測模式，儘量克服輸入資料取得面臨的困難，澈底瞭解設定參數時會影響預測結果的因素及其影響程度，以及國外交通量、車速、路面材質、道路坡度等修正建議值應用在國內高速公路是否合理，合適的修正範圍又是多少等。

本研究選擇國道高速公路適合地點進行噪音監測，並收集監測時的交通資料，以監測地點交通資料及環境資料建立各預測模式輸入參數，以相同的交通量、速度、路面、坡度等輸入參數，應用 CADNA-A 軟體提供的不同噪音預測模式來預測監測地點的噪音量，透過成對樣本 t 檢定比較不同的噪音預測模式預測值與實測值的差異，探討該差異的產生與預測模式本身的關聯，提出各模式使用上可能面對的問題及應注意事項，以期對噪音預測模式的選用能有更多的瞭解，並找出適用於高速公路的噪音預測模式。

## 貳、研究方法

### 2.1 CADNA-A 介紹

CADNA-A 是由德國 DataKustik 公司開發之噪音預測模式電腦軟體，該軟體具備多種國家噪音預測的標準，而使用者須依照當地的交通狀況及週遭環境等條件，可選擇下列不同的道路噪音預測方法：

- (1) RLS-90：德國道路噪音防制準則。
- (2) DIN18005：德國都市計畫的噪音減低預測方法。
- (3) CRTN：英國國家量測實驗室開發之道路交通噪音預測模(Calculation of Road Traffic Noise 1988)。
- (4) NMPB-Routes-90：德國Stuttgart大學依據RLS-90 發展之噪音預測模式。
- (5) Nordin Prediction Method。
- (6) RVS 3.02：德國 Berechnung der Larmimmission nach RVS 3.02 噪音預測方法之略稱。
- (7) STL 86：瑞士聲學協會發展之噪音預測方法，全名 Konformitätserklärung und Testaufgaben für das Modell StL-86。

CADNA-A 可應用於高速公路、快速公路、一般(市區)道路及隧道口，適合預測的行車狀況為小型車行駛速率每小時 30~130 公里、大型車行駛速率每小時 30~80 公里，交通量無限制條件，噪音源參數為車種、車輛數及大型車比例，車種分為大型車與小型車，機車則換算成小型車數量，測量地點須為特定位置，評估指標為小時均能音量，CADNA-A 模式演算公式如下所示：

$$LS = LM + DI + K - DS - DL - DBM - DG + DE - DZ \dots\dots\dots(2-1)$$

其中

LS：預測點音壓位準，dB

LM：音源聲功率，dB

DI：方向係數，dB

K：傳遞空間修正，dB

DS：距離衰減修正，dB

DL：大氣吸收修正，dB

DBM：地表吸收修正，dB

DG：植物效應修正，dB

DE：障礙物反射修正，dB

DZ：室外因子(如風向、溫度等)修正，dB

LM為距音源25公尺、離地面4公尺高之音壓位準(dB)，定義為

$$LM = L_{25} + DV + D_{stro} + D_{stg} + D_{mrefl} \dots\dots\dots(2-2)$$

其中

$DV$ ：速率修正因子

$D_{stro}$ ：道路路面修正因子，瀝青路面  $D_{stro}=0$

$D_{stg}$ ：坡度修正因子，詳表 2.2

$D_{mreft}$ ：反射音修正因子

$G$ ：道路修正坡度，%

以 RLS-90 與 DIN18005 量測規範為例，測量地點須將噪音計放置距離音源 25 公尺處，距離音源 25 公尺噪音量計算公式如下 (ISO, 1996)：

$$L_{25} = 37.3 + 10 \log [M \times (1 + 0.082 \times P)], \text{ dB}(A) \dots\dots\dots (2-3)$$

其中

$M$ ：平均小時交通流量，輛/小時

$P$ ：大型車(2.8 噸以上車種)百分比，%  $L_{25}$

上述噪音預測模式中的參數須依實際交通屬性及其週遭環境狀況修正，速率、反射音及坡度等修正的公式或修正值如下：

(1) 速率修正

$$DV = L_{car} - 37.3 + 10 \log \frac{100 + (10^{(0.1 \times D)^{-1}} \times P)}{100 + 8.23P} \dots\dots\dots (2-4)$$

其中

$$L_{car} = 27.7 + 10 \log [1 + (0.02 \times V_{car})]$$

$$L_{truck} = 23.1 + 12.5 \times \log V_{truck}$$

而

$$D = L_{truck} - L_{car} \dots\dots\dots (2-5)$$

$V_{car}$ ：小型車速率，km/h

$V_{truck}$ ：大型車速率，km/h

(2) 反射音修正

$$D_{mreft} = 2 \times \frac{HB}{W} \dots\dots\dots (2-6)$$

$HB$ ：反射面(如建築物或防音牆平均高度)，m

$W$ ：音源與反射距離，m

(3) 坡度修正

CADNA-A 坡度修正因子如下表 2.2 所示：

表 2.2 CADNA-A 坡度修正因子

$D_{stg}$	$G$
$(0.6 \times G) - 3$	$> 5\%$
0	$\leq 5\%$

(4) 注意事項

既使已對交通狀況及週遭道路環境做修正，但須注意的是使用此軟體輸入道路、交通、敏感點及噪音防制設施(如隔音牆)等屬性資料後，程式會依選擇的預測方法如 RLS-90、DIN18005-1 及 VDI2714 等相關規範進行演算，而輸出結果包含無噪音防制(隔音牆最佳化設計)前後、預測敏感受體的小時均能音量及水平、垂直等噪音線圖。所以像路邊環境及交通路況較單純的直線道路，使用者可逕自使用輸入參數較少的 Long Straight Road 子程式。

2.2 校估

本研究除透過比較相同的輸入資料不同的噪音預測模式的預測結果之差異，並將各小時的預測值與實測小時均能音量透過成對樣本t檢定進行比對，利用最小平方法來確認何種模式較佳，最後分析各噪音預測模式演算式對預測結果的影響，試將提出各種高速公路噪音預測模式的適用性。校估流程及其步驟如下：

- 步驟 1：比較實測  $Leq$  與預測  $Leq$ ，若其兩者之差絕對值小於等於 3dB，則此模式可用；否則至第二步驟。
- 步驟 2：比較其模式之常數項值與實測值之  $L_{90}$ 。
- 步驟 3：修正模式。
- 步驟 4：計算修正模式的預測均能音量( $Leq$ )。
- 步驟 5：比較其修正後模式與實測值之均能音量，若相差在  $\pm 3dB$  以內，則可以使用此修正後模式；否則放棄此模式。

參、資料蒐集

3.1 交通與環境資料

本研究依 RLS-90 與 DIN18005 量測規範之規定於高速公路沿線距外側車道中心線 25 公尺處進行噪音監測(如圖 3.1)，考量高架段不合適，量測地點車輛無法到達的地點會造成監測工作難以執行，選定中山高速公路北上 128.750 公里、167.200 公里及 173.800 公里三處。另外於國道三號，北上 64.800 公里、84.600 公里、90.100 公里及國道四號西向 7.800 公里等處之避車灣(如圖 3.2)進行的噪音監測，以比較 DIN 18005 及 RLS-90 噪音預測模式所做的噪音預測結果，分析標準量測距離(25 公尺)與路邊量測的預測結果之差異。

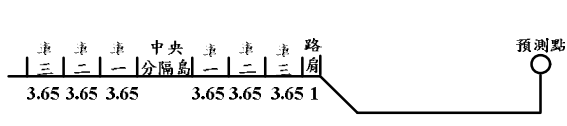


圖 3.1

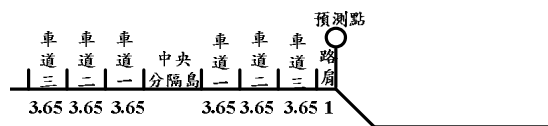


圖 3.2

### 3.2 CADNA-A 參數輸入

本研究預測點輸入的交通資料包括小時交通量、重車比、縱坡度等如表3.1所示，表中除國道三號北上64.800公里、84.600公里、90.100公里及國道四號西向7.800公里等處之交通流量係使用數位影像攝影機錄製行車畫面，再計算每一畫面呈現車流量，加總後再取小時平均值推算出小時交通量外，其餘資料為取自高速公路中區交通控制系統車輛偵測器所收集之交通資料。

表 3.1 參數資料 (單位：dB、輛/小時、%、km/h、m)

量測位置		鋪面型式	車速 (km/hr)		平均小時 交通量	重車比 (%)	縱坡度 (%)
國道別	里程數		大車	小車			
國道一號	128.750	瀝青混凝土路面	110	90	3561	0.19	0
國道一號	167.200	瀝青混凝土路面	110	90	5983	0.19	0
國道一號	173.800	瀝青混凝土路面	110	90	7112	0.16	0
國道三號	132.653	排水性瀝青混凝土	110	100	4206	0.14	0
國道三號(北上)	64.800	剛性路面(橫、縱向掃紋)	110	100	2585	0.22	0
國道三號(北上)	84.600	改良式開放級配	110	100	2515	0.18	0.82
國道三號(北上)	90.100	傳統開放級配	110	100	1971	0.22	0.40
國道三號(北上)	132.600	排水性瀝青混凝土	110	100	1591	0.22	0.67
國道三號(南下)	233.400	剛性路面(橫向掃紋)	110	100	1445	0.17	-0.50
國道四號(西向)	7.800	改良式開放級配	90	90	1403	0.27	0.00

將表3.1所包含之交通資料與道路環境資料等參數輸入CADNA-A中進行噪音預測，圖3.3為CADNA-A提供之各項噪音預測方法的選單。

- (1)小車、大車流量與速度等小時交通資料輸入畫面如圖3.4所示。
- (2)預測點對應的道路路段之車道數輸入畫面如圖3.4所示
- (3)道路鋪面材質、坡度輸入畫面如圖3.4所示。
- (4)道路結構：路堤高度、路塹深度或為平面段輸入畫面如圖3.5所示。
- (5)道路最外側車道中心線至預測點距離輸入畫面如圖3.5所示。
- (6)車道、路肩、中央分隔島寬度圖示如圖3.7。
- (7)其他：視預測點至道路邊之間有無隔音牆、建築物、濃密的樹林，須蒐集高度、縱深及其與音源或預測點間距離等相關資料。

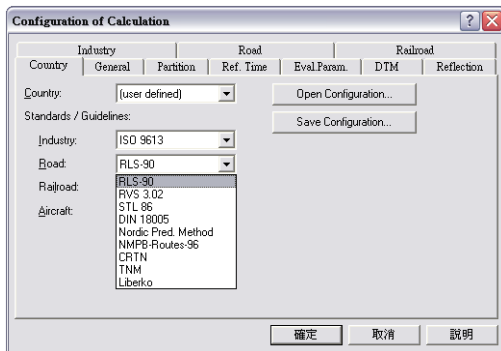


圖 3.3

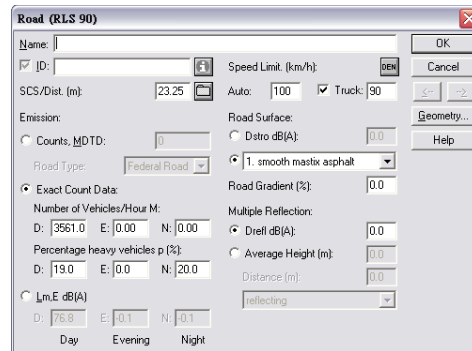


圖 3.4

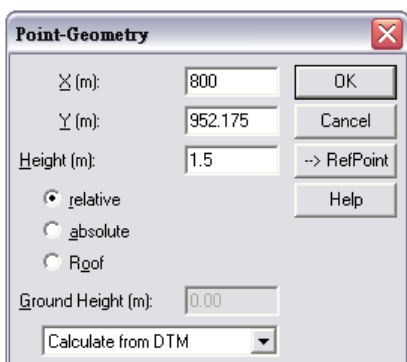


圖 3.5

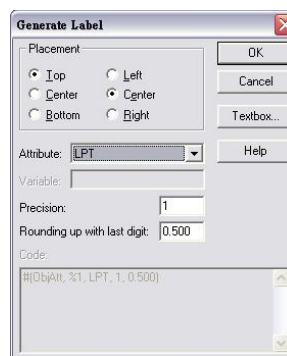


圖 3.6

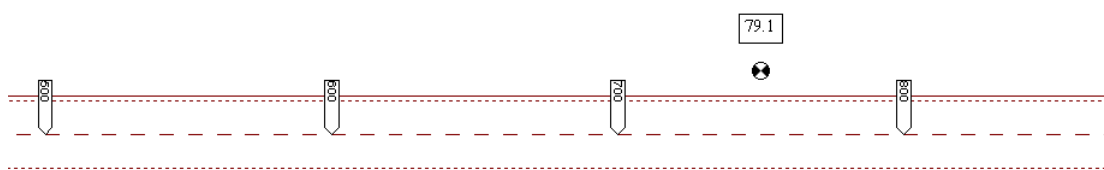


圖 3.7

### 肆、實證分析

CADNA-A 軟體所得預測值與實測值比較之結果彙整如表 3.2。DIN 18005 以國道三號北上 132.600 公里處的預測值最接近實測值，差值在-1.0~0.0dB 之間，以國道一號北上 173.800 公里處的預測值與實測值相差最大，在 6.40~10.8dB 之間；RLS-90 以國道一號北上 173.800 公里處的預測值與實測值相差 6.90~11.10dB 最大。表 3.2 DIN18005、RLS-90 預測值與實測

值比較表 單位：dB(A)

國道別	監測地點	監測時間	小時均能音量	DIN18005		RLS-90	
				預測值	差值	預測值	差值
國道一號	128.750	200603211632	72.7	79.1	6.40	79.4	6.70
國道一號	167.200	200604121235	74.7	81.4	6.70	81.6	6.90
國道一號	173.800	200603211116	73.9	81.0	7.10	81.3	7.40
國道一號	173.800	200604121404	70.2	81.0	10.80	81.3	11.10
國道一號	173.800	200604121505	74.4	81.0	6.60	81.3	6.90
國道三號	132.653	200507111149	79.3	80.0	0.70	80.5	1.20
國道三號	132.653	200507111249	79.1	80.0	0.90	80.5	1.40
國道三號	132.653	200507111349	78.9	80.0	1.10	80.5	1.60
國道三號	132.600	200507110649	78.3	76.9	-1.40	77.3	-1.00
國道三號	132.600	200507110749	78.3	76.9	-1.40	77.3	-1.00
國道三號	132.600	200507110849	78.3	76.9	-1.40	77.3	-1.00
國道三號	64.800	200507050851	84.3	85.0	0.70	85.4	1.10
國道三號	64.800	200507050951	83.8	85.0	1.20	85.4	1.60
國道三號	64.800	200507051051	84.0	85.0	1.00	85.4	1.40
國道三號	64.800	200507051151	84.4	85.0	0.60	85.4	1.00
國道三號	84.600	200507041218	78.0	85.0	7.00	85.4	7.40

國道別	監測地點	監測時間	小時 均能音量	DIN18005		RLS-90	
				預測值	差值	預測值	差值
國道三號	84.600	200507041318	78.1	85.0	6.90	85.4	7.30
國道三號	84.600	200507041418	78.5	83.4	4.90	83.8	5.30
國道三號	84.600	200507041518	78.8	83.4	4.60	83.8	5.00
國道三號	90.100	200507040826	78.1	83.2	5.10	82.8	4.70
國道三號	90.100	200507040926	78.2	83.2	5.00	82.8	4.60
國道三號	90.100	200507041026	78.1	83.2	5.10	82.8	4.70
國道三號	90.100	200507041126	78.5	83.4	4.90	83.8	5.30
國道三號	233.24	200507051120	79.3	83.8	4.50	84.0	4.70
國道四號	7.800	200504070735	78.4	81.0	2.60	81.8	3.40
國道四號	7.800	200504070835	78.4	81.0	2.60	81.8	3.40
國道四號	7.800	200504070935	78.3	81.0	2.70	81.8	3.50
國道四號	7.800	200504071035	78.3	81.0	2.70	81.8	3.50

由於噪音預測值與實測值均為相同的交通與環境狀況，故兩者母群體樣本間之關係為相依，RLS-90 與 DIN18005 兩種預測方法所獲致的結果，透過成對樣本 t 檢定確認兩者間是否有顯著性的差異。因為實測值的樣本數只有 28 個小於 30 個，不能逕自視為常態分配，根據統計學理論，當樣本數變大時，t 分配會趨近於 Z 分配，既使在大多數的情況下，母體變異數未知，亦即 T 檢定可包含 Z 檢定的應用(林震岩，2007)。所以本研究仍可進行 t 檢定。表 3.3 為成對樣本 t 檢定之結果，從表中 t 檢定之顯著性可看出，DIN18005 與 RLS-90 二個變數與實測值間達到顯著性差異。

表 3.3 成對樣本 t 檢定

檢定假設型式		$\begin{cases} H_0 : \mu_d \leq 0 \\ H_1 : \mu_d > 0 \end{cases}$	
預測值與實測值比較	t	自由度	顯著性(單尾)
DIN18005	-6.042	27	0.000
RLS-90	-6.844	27	0.000

各測點預測值與實測值之差的最小平方和如表 3.4 顯示 DIN18005 之誤差較 RLS-90 小。不過，在國道三號 90.1 公里處可發現 RLS-90 之預測值與實測值較貼近。



表 3.4 DIN18005 與 RLS-90 最小平方和

DIN18005			RLS-90		
預測值	差值	最小平方	預測值	差值	最小平方
79.1	6.40	40.96	79.4	6.70	44.89
81.4	6.70	44.89	81.6	6.90	47.61
81.0	7.10	50.41	81.3	7.40	54.76
81.0	10.80	116.64	81.3	11.10	123.21
81.0	6.60	43.56	81.3	6.90	47.61
80.0	0.70	0.49	80.5	1.20	1.44
80.0	0.90	0.81	80.5	1.40	1.96
80.0	1.10	1.21	80.5	1.60	2.56
76.9	-1.40	1.96	77.3	-1.00	1.00
76.9	-1.40	1.96	77.3	-1.00	1.00
76.9	-1.40	1.96	77.3	-1.00	1.00
85.0	0.70	0.49	85.4	1.10	1.21
85.0	1.20	1.44	85.4	1.60	2.56
85.0	1.00	1.00	85.4	1.40	1.96
85.0	0.60	0.36	85.4	1.00	1.00
85.0	7.00	49.00	85.4	7.40	54.76
85.0	6.90	47.61	85.4	7.30	53.29
83.4	4.90	24.01	83.8	5.30	28.09
83.4	4.60	21.16	83.8	5.00	25.00
83.2	5.10	26.01	82.8	4.70	22.09
83.2	5.00	25.00	82.8	4.60	21.16
83.2	5.10	26.01	82.8	4.70	22.09
83.4	4.90	24.01	83.8	5.30	28.09
83.8	4.50	20.25	84.0	4.70	22.09
81.0	2.60	6.76	81.8	3.40	11.56
81.0	2.60	6.76	81.8	3.40	11.56
81.0	2.70	7.29	81.8	3.50	12.25
81.0	2.70	7.29	81.8	3.50	12.25
最小平方和		599.30	最小平方和		658.05

### 伍、結論

本研究運用國外使用多年且經政府單位正式發表，模式計算公式完整的噪音預測模式 DIN18005 與 RLS-90 進行預測及比較分析。以高速公路適當地點的噪音監測及交通資料建立輸入資料，以 CADNA-A 電腦軟體進行預測，各測點不同的預測模式之預測值與實測值的差

值有相當大的差異，應用統計分析的成對樣本 t 檢定發現，兩種不同預測方法的預測值也有顯著的差異。另外各測點預測值與實測值之差的最小平方和來看，DIN18005 之整體誤差較 RLS-90 小。但在國道三號 90.1 公里處可發現，RLS-90 之預測值與實測值較貼近，因此本研究認為使用噪音預測電腦軟體，既使輸入相同的參數資料，仍會因選擇的預測方法不同，使得預測值有顯著的差異，故須依預測地點的噪音特性與環境狀況選擇較適合的噪音預測模式，亦可就數種預測模式進行模擬，選擇誤差在 $\pm 3\text{dB}$ 以內的噪音預測模式。

## 陸、參考文獻

- [1]行政院環保署噪音管制資訊網，<http://ivy1.epa.gov.tw/noise/DD/D-01.htm>
- [2]王文麟，交通工程學 理論與實務第三版，1993 年 9 月。
- [3]中華民國音響學會，噪音振動評估模式技術研討，行政院環境保護署 89 年度研究計畫 pp. 41~45，1999 年 12 月。
- [4]王世傑，「高速公路交通噪音模式之研究」，逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文 民國 95 年 6 月。
- [5]習良孝，噪音模式於環工方面之整合、應用及檢討，中興工程顧問社，pp.2-1~2-2、pp.2-4~2-7、pp.4-5~4-13，1997 年 12 月。
- [6]林震岩，多變量分析：SPSS 的操作與應用，智勝文化，2007 年 9 月再版。