

全身振動暴露危害評估研究

Study on risk assessment of whole – body vibration exposure

潘儀聰¹、林桂儀¹、劉俊杰²、陳協慶³、盧士一⁴

摘要

我國現行勞工安全衛生設施規則對於全身振動之規範係源自於 ISO 2631-1 (1985) 之暴露限制，規範內容除了在應用上受到某些限制外，與當前先進國家所制訂及引用之規範已有若干差距。近幾年我國勞工安全衛生研究所也開始針對堆高機、曳引貨櫃車及營建用機械等職業駕駛人員進行量測評估，但本國對於勞工暴露全身振動之研究，尚缺乏全面性的研究資料。

本研究依據 ISO 2631-1 (1997) 以及 ISO 2631-5 之規範，共完成 36 台次的振動量測，受測車輛包括挖土機、砂石車、堆高機等工程車輛、兩款最常見之 125cc 機車以及行駛一般路面之自小客車，每次測量之平均有效測量時間約為 1 小時。結果顯示 ISO 2631-5 規範對於具有多次衝擊性之振動較為敏感，並對這類型振動的危險評估也較嚴格。實驗發現行駛於平坦路面之自小客車駕駛全身振動量極低，每日容許暴露時間超過 8 小時；但根據 ISO 2631-5 的規範，在正常機車騎乘狀況下約有超過 40% 的機車騎乘客許時間被限制在 1 小時以下，甚至比一般的工程車輛高出許多，值得相關單位做進一步的研究與探討。

研究顯示我國現行勞工安全衛生設施規則相對於 ISO 2631-1 及 ISO 2631-5 規範而言，對於全身振動危險評估可能過於寬鬆，結果將會對全身性振動所引起之健康危害認定採用過於嚴格的標準，未來針對國內常見作業於非平坦路面之工程車輛，應同時依據 ISO 2631-1(1997) 及 ISO 2631-5 新規範進行評估，以確認具有高全身振動危險風險之工程車輛，並建議現行勞工安全衛生設施規則第 301 條規範之修正方向。

關鍵字：全身振動、ISO 2631-1、ISO 2631-5

Abstract

The presently occupational safety and health regulations of whole-body vibration (WBV) originated from the exposure limit of ISO 2631-1 published in 1985 by the International Organization for Standardization. This regulation has some limitations in its applications and is different from current standards adopted by well developed countries. In Taiwan, Studies of whole-body vibration started from buses and trains, followed by the fork-lift truck, container tractor and construction equipment drivers which made by IOSH lately, however, we still lack of overall studies comparing to foreign.

This study developed analysis software for whole-body vibration (WBV) in accordance

¹勞委會勞工安全衛生研究所助理研究員

²中華大學土木與資訊工程學系副教授

³朝陽科技大學工業工程與管理系副教授

⁴中山醫學大學職業安全衛生系副教授

to the guidelines of ISO 2631-1 (1997) and ISO 2631-5. We employed to measured a total of 36 WBV tests. Those vehicles tested include excavators, dump trucks, and forklift truck, 125cc motorbikes and scooters, and regular sedans. The average measuring period was about an hour. Results indicate the ISO 2631-5 guidelines are more sensitive to WBV containing multiple shocks and are more rigorous in evaluating related health risk. The experimental results demonstrated low level of WBV in the drivers of regular sedans while driving on standard paved roads. These sedan drivers had more than 8 hours of exposure period to reach the daily exposure limit value (ELV) of ISO 2631-1 (1997) and ISO 2631-5. However, according to ISO 2631-5, over 40% of the motorcycle rides had the exposure period required to reach ELV less than 1 hour. Our study suggests that the WBV exposure levels of common motorcycle riders are distinctively higher than most 4-wheel vehicles even on a regular paved road. Special attention should be paid to the health effect caused by WBV exposure among the motorcycle riders according to guidelines of ISO 2631-1 and ISO 2631-5.

This study indicate that current national occupational safety and health regulation for whole-body vibration (WBV) was too placid compare with ISO 2361-1 and ISO 2631-5. This causes the identification of WBV introduced occupational disease become strict. In the future study, both ISO 2631-1 and ISO 2631-5 should be considered to assess the WBV exposure of industrial vehicles operating on uneven surfaces and expected to point the direction of amendment to law 301 of national occupational safety and health regulation.

Keywords: Whole - Body Vibration 、 ISO 2631-1 、 ISO 2631-5

壹、前言

研究指出長時間職業性暴露於高強度的全身性振動 (whole-body vibration, WBV)，會增加脊椎及相連結神經系統病變的風險 (Wilder et al., 1982; Frymoyer et al., 1984; Seidel and Heide, 1986; Dupuis and Zerlett, 1987; Hulshof and Veldhuijzen van Zanten, 1987; Heliovaara, 1987; Bovenzi and Zadini, 1992; Griffin, 1990, 1998; Boshuizen et al., 1992; Seidel, 1993; Wikström et al., 1994; Hulshof et al., 2002)；此外，肩頸、胃腸系統、女性生殖器官、周邊血管、以及耳蝸-前庭系統亦可能有較低的機率會受到 WBV 的影響 (Seidel and Heide, 1986; Griffin, 1990; Seidel, 1993; Wikstrom et al., 1994)。流行病學調查指出，駕駛非行駛於平面道路之車輛、工程車輛及機械、公車、直昇機之駕駛員相較於非 WBV 之族群，有較高的下背痛危害風險 (Hulshof and Veldhuijzen van Zanten, 1987; Wikström et al., 1994)；根據估計，在美國、加拿大及某些歐洲國家的勞工中，約有 4%-7% 暴露於有危害性的 WBV 下。然而，除了下背痛以外，WBV 所引起器官病變之流行病學研究仍屬薄弱 (Bovenzi, 1996)。隨著工業的發展與進步，人們可能處於不同的振動工作環境中。由於工作的需要而大量使用機械或車輛協助進行各項作業，導致人體暴露在機械運轉或車輛行駛時所產生的振動環境中。常見的工程用車輛如堆高機、挖土機、曳引拖車、砂石/垃圾車等大卡車，皆會對駕駛產生不同程度的全身性振動 (whole-body vibration, WBV)。工作人員常因使用機械或大型車輛協助進行各項作業，導致人體暴露在機械運轉或車輛行駛所產生的振動環境中。過去的研究指出，長時間暴露於高振動的環境下，人體脊椎與器官系統會因車輛振動而產生共振，對脊椎骨、末梢神經系統產生危害，造成脊柱退化、椎間盤突出、下背痛與坐骨神經痛等疾病 [1-5]。而堆高機、挖土機、牽引機、砂石或垃圾車等工程用車輛、林業及採礦等特殊機械車輛，以及重型振動機器所造成之全身性振動暴露 (whole-body vibration exposure, WBV)，皆曾有研究指出會對人員造成身體上的不適，還可能減少工作表現和警覺性 [6]。依據民國 90 年度行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所的「工作環境安全衛生狀況-受雇者認知調查」 [7]，發現有全身振動暴露的作業人數約佔 17.1%，其中以土石採取、運輸、營造及倉儲業的比例較高，且有相當多人抱怨受到全身振動危害的困擾。

貳、國際標準組織(ISO)全身振動相關規範

國際標準組織 (International Standard Organization, ISO) 於 1974 年訂定了「全身振動的暴露評估指引 ISO 2631」，定義全身振動之方向 (圖 1) 與評估方法，目前評估全身振動對人體健康的影響主要可分為 ISO 2631-1:1985 與 ISO 2631-1:1997 兩個版本。早期 ISO 2631-1:1985 之規範採用均方根加速度 (root mean square acceleration, RMS)，以及定義於 1~80 Hz 之間，以直線所表示之頻率-加速度對數函數作為頻率加權的基礎，並根據振動加速度 1/3 八度 (1/3 octave) 頻率分析之強度分佈，比對頻率加權網來提出振動暴露的時間限制。

ISO 2631-1:1997 [8] 擴充原先 ISO 2631-1:1985 之頻率加權範圍，採用頻率加權後加速度 (frequency-weighted acceleration) 的 RMS 值作為全身振動的基本評估方式，並進一步將頻率加權分為 W_k 、 W_d 、 W_f 、 W_c 、 W_e 、 W_j 等 6 種，分別用來考慮不同方向加速

度頻率對人體健康 (health)、舒適 (comfort)、感覺 (perception)、以及暈車、暈船等 (motion sickness) 所造成之影響。RMS 之計算如公式 (1) 所示，其中 $a_w(t)$ 為加權後之加速度，單位為 m/s^2 ； T 為測量時間間隔，以秒為單位。

$$RMS = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

當振動中存在過大的峰值因數 (Crest Factor, CF) 或有偶發的衝擊振動時，單純採用 RMS 往往會低估振動對人體健康的影響。因此，ISO 2631-1:1997 建議在 $CF > 9$ 的情況下，應額外考慮採用移動均方根值 (running r.m.s.) 或四次的振動暴量 (4th power vibration dose value, VDV) 進行評估，尤其是當移動均方根之最大值 MTVV (maximum transient vibration value) 與 RMS 之比值超過 1.5，或 VDV 與 $RMS \cdot T^{1/4}$ 之比值超過 1.75 時 (T 為暴露時間)，採用 MTVV、VDV 或其他的評估方式便益形重要。VDV 之計算如公式 (2) 所示，其中 $a_w(t)$ 為加權後之加速度，單位為 m/s^2 ； T 為測量時間間隔，單位為秒，VDV 之單位為 $m/s^{1.75}$ 。

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

ISO 2631-1:1997 採用能量之概念訂定每日振動暴露的健康警戒區域 (health guidance caution zone)，其所建議之 VDV_d 健康警戒區域介於 $8.5 \sim 17 m/s^{1.75}$ ，依此推算 RMS 之健康警戒區介於 $0.45 \sim 0.9 m/s^2$ ，這種方式允許評估人員針對每一定義方向之振動加速度，分別計算頻率加權之 RMS 及 VDV 值，並分別依據健康警戒區域所訂定的暴露限制求算每日的容許暴露時間。

ISO 2631-5 規範的建立緣起於美國陸軍對健康危害評估的一系列研究計畫，經過多年研究，由執行研究合約之英國哥倫比亞研究所 (British Columbia Research Institute, BCRI) 向 ISO 提出對 2631-1 之修正案[10]，並於 2003 年底 ISO 2631-5 草案獲得通過。BCRI 建議應將多次衝擊對坐姿人員所引起的振動危害評估納入以下 4 項評估：(1) 以生物動力學模型 (biodynamic model) 預測脊椎之加速度，(2) 使用迴歸模型預估 L4/L5 椎間盤之壓應力峰值，(3) 對壓應力峰值建立以疲勞為基礎的模型來量化多次衝擊所產生的累積效應，(4) 依常態分佈人口，建立與累積劑量相關之脊椎傷害機率模型 (spinal injury probability model)。

ISO 2631-5 規範中採用兩種生物動力學模型[9]，第一種為一個自由度之線性質量-彈簧振動系統 (圖 2)，具有 2.125 Hz 之自然頻率 f_n 與 0.22 之臨界阻尼係數 ζ (critical damping ratio)，用來預測座椅面水平 (x, y) 方向衝擊性加速度對坐姿人員之脊椎響應。

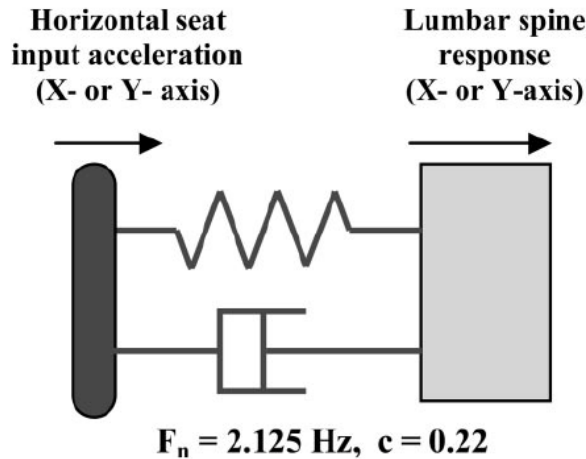


圖 2 ISO 2631-5 預測 x, y 軸脊椎加速度之線性質量-彈簧模型 (資料來源: Alem, 2005[10])

第二種生物動力學模型為非線性的循環式類神經網路 (recurrent neural network) 模型(圖 3), 用來預測座椅面垂直(z)方向衝擊性加速度對坐姿人員之脊椎響應。ISO 2631-5 兩種生物動力學模型所使用的參數是由實驗研究所獲得之資料, 其數學模型、計算方法及 Matlab 範例程式皆詳載於 ISO 2631-5 及其附錄中[9]。

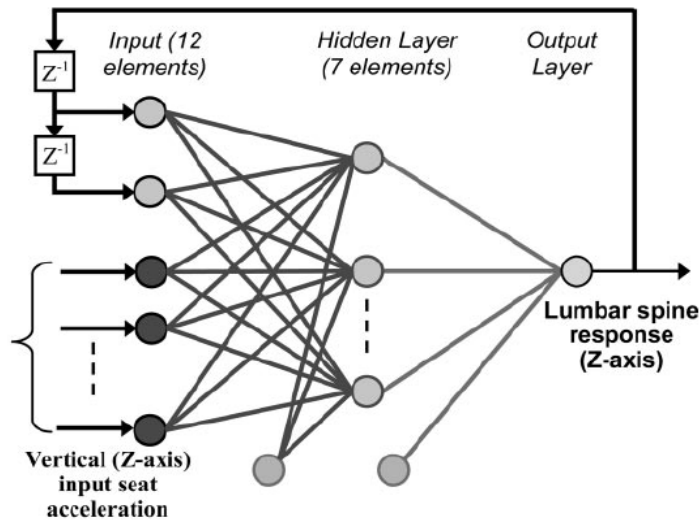


圖 3 ISO 2631-5 預測 z 軸脊椎加速度之循環式類神經網路模型 (資料來源: Alem, 2005[10])

ISO 2631-5 規範建議對於具有多次衝擊之振動採用日等量靜態壓應力 (S_{ed}) 及風險係數 (R) 來評估對健康的危害。規範以坐墊量測所得之加速度, 分別依其方向應用上述生物動力學模型來推估脊椎之加速度, 並以脊椎加速度之峰值分別計算 x、y、z 振動方向之加速度暴 (劑) 量 (acceleration dose), 再進一步依每日之振動暴露時間換算為日加速度暴量 (daily acceleration dose)。加速度日暴量因與壓應力峰值有線性關係, 可整合 x、y、z 三個振動方向之日暴量來推估脊椎之等校靜態壓應力 S_e (equivalent static compressive stress) 及日等量靜態壓應力劑量 S_{ed} (daily equivalent static compression

dose)，並進一步使用 S_{ed} 來計算對健康危害之風險係數 R (Risk factor)。

參、研究方法

本研究以一般常見的挖土機、砂石車等工程車輛以及機車、小轎車為測量對象，主要考慮是選擇不具衝擊性振動之一般道路車輛，以及行駛作業於崎嶇地面或具有較高振動性之車輛振動進行比較，以檢視 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 評估結果之差異，同時亦可與先期文獻之測量結果進行比較，以確認測量結果之可信度。本研究共進行 36 台次的振動量測，車輛形式如表 1 所列，受測車輛包括挖土機、砂石車、叉舉車等工程車輛，兩款最常見之 125cc 機車，以及行駛一般路面之小轎車，每次測量之平均有效測量時間約為 1 小時。挖土機、砂石車測量於河堤施工工程，叉舉車測量於堆置貨櫃作業，機車及小轎車則依規定行駛於既定道路。

表 1 全身振動測量總表

車種	受測車輛數	受測人數	量測作業(台次)
挖土機(工程)	3	3	4
叉舉車(工程)	1	1	2
砂石車(工程)	1	1	1
小轎車	5	5	5
速克達(機車)	6	6	12
三陽野狼(機車)	6	6	12

本研究採用之可攜式資料記錄器進行振動暴露資料收集[12,13]，該記錄器能以單通道 20k sample/s 之頻率高速取樣，同步擷取 3 個通道之外部輸入類比訊號 ($\pm 10V$)，並將同一通道來源之資料分散儲存於 4 個資料軌 (data channel) 中，每一資料軌相當於儲存 5k sample/s 的取樣資料[14]。加速度的測量採用 Larson Davis 公司之三軸 ICP 加速度席盤 (model 356B40)，配合 PCB Piezotronics 公司之校正器 (model 394C06) 進行儀器校正。為配合席盤裝置之使用，本研究採用與 PCB Piezotronics 公司 model 480B21 同款之 3 通道訊號放大器，該放大裝置使用 $\pm 24V$ 直流電源供應，可獨立調整各通道之放大倍率。

實驗進行最初，由實驗人員在對受測駕駛說明實驗目的與方法，以訪談方式調查受測駕駛之基本資料、工作狀況、健康狀況等情形。營建工程車輛操作員振動測量之實驗器材設置以 Mitsubishi 450LC 挖土機 (圖 4-a) 為例做說明。將記錄器及電池繫於椅背後方 (圖 4-b)，以防止駕駛人員誤觸或因撞擊其他物品而造成資料收集中斷；並將訊號放大器及電源電池以膠布固定於車內椅後平台上 (圖 4-c)，防止其因振動或滑動拉扯訊號線而影響訊號品質；加速度席盤則依據 ISO 2631-1 定義之方向放置於駕駛座椅面上 (圖 4-d)，並確認駕駛得以正確坐姿坐於席盤上進行施工作業後，才開始進行資料收集。

記錄器設定以每通道 20k sample/s 頻率擷取加速度資料，訊號放大器放大倍率設定為 10 倍。測量過程中途如無特殊因素或受外力干擾，單一作業之資料記錄工作將持續進行 1 小時以上，以取得具有代表性之振動暴露評估。測量中同時對作業進行攝影，並以無線訊號來同步記錄器與攝影資料，以利後續資料分析工作之進行。



圖 4 現場測量實驗器材設置 (a) Mitsubishi 450 LC 挖土機溝渠挖掘 (b)記錄器吊掛於駕駛座椅背後方 (c)訊號放大器及電源電池固定於後座底面平台(d)席盤安置於座椅上臀部位置

機車全身振動測量的加速度席盤依 ISO 2631-1 定義之方向放置於座墊上。每位受測騎士在安全帽前方固定有一針孔攝影機，以側肩帶攜帶一可攜式錄影機，並以背包裝置訊號放大器、資料記錄器、與電池盒，背包之總重量約 1.5 kg。機車騎士被要求在測試過程中需持續坐於席盤上，不可自主地將臀部抬舉離開席盤，相對地，機車騎士被告知可以安全的方式避開行駛中所遭遇到的坑洞以及突起的人孔蓋，或放慢速度來降低因隆起或不平路面所造成之衝擊性振動。測試時間選定於上午 9:30 至 11:30 之間或下午 1:30 至 4:30 之間，以確保較一致的道路狀況以及避開交通尖峰壅塞時段。其餘的測量過程與營建工程車輛相同。

肆、 振動暴露量測結果

實驗結果顯示各項振動指標在垂直方向(z 軸)所得之振動值最高，因此 ISO 2631-1 的 RMS 及 VDV 皆採用垂直方向的振動量(劑量)進行評估。而 S_e 則依據 ISO 2631-5 的規範以公式(5)合計各軸向加速度劑量求得。表 2 列舉各測試車輛之分析結果，以及在

該振動強度下每日容許之暴露時間 (T_{AL})，結果顯示使用 RMS 相較於 VDV 及 S_e 會明顯低估振動的危險。圖 6 則以空心符號顯示所有測量之 VDV 及 S_e 分佈與其相對之健康指導警戒區，並以實心符號顯示工程車輛及小轎車 8-hr 之預估振動暴露。

在 7 次工程車輛的振動量測中 (測試編號 1-7)，有 1 次挖土機的 8-hr 振動暴露預測值同時高於 VDV 及 S_e 的暴露限制 (測試編號 4，表 2)，根據 0.8MPa 之暴露極限推算，該項作業之容許時間僅有 1.1 小時；另有 1 次挖土機的 8-hr 振動暴露預測值僅高於 S_e 的暴露限制，並介於 VDV 的健康指導警戒區域之間，若根據 S_e 之暴露極限推算，該項作業之容許時間僅有 4.4 小時 (測試編號 1，表 2)，但若依 ISO 2631-1 的 RMS 、 VDV 值推估，其容許暴露時間則會超過 24 小時，顯現兩種規範可能對同一振動暴露的健康危害做出不同的判定。由作業的內容來看，這兩項作業皆為挖掘大石塊，由於作業地形崎嶇不平加上石塊重量極高而引起較大的衝擊性振動，一般作業人員每日工作實際之暴露時數約為 8 小時，顯示該項作業人員因衝擊性振動遭受危害之機率較高。相較之下，其他挖土機進行剷土作業或是叉舉車進行貨櫃作業則負重較低，振動值也不如預期之高，其 8-hr 振動暴露預測值皆介於 VDV 與 S_e 的健康指導警戒區域之間，根據規範雇主仍有必要對這些作業進行適當之行政管理。

行駛於平坦路面小轎車駕駛 (測試編號 8-12) 之全身振動量極低，無論是由 ISO 2631-1 的 RMS 、 VDV 值或是由 ISO 2631-5 的 S_e 推算之每日容許暴露時間皆低於 8 小時 (表 2)，換言之，其 8 小時之暴露量 (8-hr 振動暴露預測值) 全部低於相對應之行動位準，顯示小轎車駕駛之全身振動危害機率極低。

在 24 駕次的 20.6 公里機車騎乘測試中 (平均暴露時間略低於 1 小時)，未經時間之加權即有 11 次的測量值超過 S_e 的暴露限制，其中還有 2 次同時也超過了 VDV 的暴露限制，除此之外，其餘的測量結果也都落入 VDV 與 S_e 的健康指導警戒區域內 (如圖 6)，充分顯示即使是短程的機車騎乘，機車駕駛也可能具有極高的全身振動危害風險。在批次資料處理過程中，實驗者可以觀察到明顯衝擊性的振動訊號，以及分別超過 9 及 1.5 之峰值因數與 $MTVV/RMS$ 比值，顯示機車騎乘亦具有多次衝擊的振動情形。因此，不意外地可以觀察到由 RMS 所得之暴露危害程度明顯較 VDV 與 S_e 有偏低的情形。若依騎乘的速度限制來看，以較低速度騎乘機車 (速限 40 km/h) 時，只有 S_e 之振動暴露值會明顯較低 ($p < 0.05$, 2-way ANOVA)；而不同車款也只對 RMS 值有明顯的差異 ($p < 0.05$, 2-way ANOVA)。

表 2 全身振動測量結果 (容許暴露時間 T_{AL} 單位：小時)

編號	車輛種類	作業性質	測量時間 (分)	ISO 2631-1		ISO 2531-5
				RMS (T_{AL})	VDV (T_{AL})	S_e (T_{AL})
1	Misubishi 450 LC 挖 土機	建材吊 掛及溝 渠挖掘	55	0.585 (30.9)	7.374 (25.7)	0.615 (4.4)
2	Misubishi 450 LC 挖	挖掘及 鋪設水	88	0.814 (16.0)	8.723 (21.1)	0.545 (14.7)

	土機	泥管				
3	Kobelco 挖土機	挖土回 填	91	0.42 ($\gg 8$)	9.43 ($\gg 8$)	0.48 ($\gg 8$)
4	Komatsu 300 挖土 機(30 噸)	挖石填 載	68	0.59 (18.7)	11.54 (5.3)	0.81 (1.1)
5	21 噸砂石 車	載運砂 石	66	0.56 ($\gg 8$)	8.63 ($\gg 8$)	0.47 ($\gg 8$)
6	台品叉舉 車(2.5 噸)	堆疊貨 櫃	68	0.45 ($\gg 8$)	7.99 ($\gg 8$)	0.41 ($\gg 8$)
7	台品叉舉 車(2.5 噸)	堆疊貨 櫃	60	0.42 ($\gg 8$)	7.58 ($\gg 8$)	0.38 ($\gg 8$)
8-12	Nissan, Toyota, Ford, Mitsubishi 小轎 (1600~20 00cc)	科大-車 站往返 (速限 55km/h)	54.6±1.1	0.30±0.02 ($\gg 8$)	4.17±0.42 ($\gg 8$)	0.16±0.01 ($\gg 8$)
13-18	三陽、山 葉機車 (125cc Scooter)	科大-車 站往返 (速限 55km/h)	51.8±5.0	0.8±0.12 (10.73±3.49)	13.3±2.9 (3.45±2.60)	0.92±0.32 (2.95±5.53)
19-24	三陽、山 葉機車 (125cc Scooter)	科大-車 站往返 (速限 40km/h)	61.8±6.0	0.8±0.15 (11.07±3.65)	13.0±2.6 (4.15±2.95)	0.75±0.08 (1.76±0.97)
25-30	三陽野狼 機車 (125cc)	科大-車 站往返 (速限 55km/h)	51.8±5.0	0.93±0.14 (7.64±2.07)	14.26±2.83 (2.29±1.85)	0.87±0.15 (0.86±0.82)
31-36	三陽野狼 機車 (125cc)	科大-車 站往返 (速限 40km/h)	61.8±6.0	0.90±0.15 (8.73±3.39)	13.96±1.82 (2.68±1.86)	0.71±0.12 (3.63±3.97)

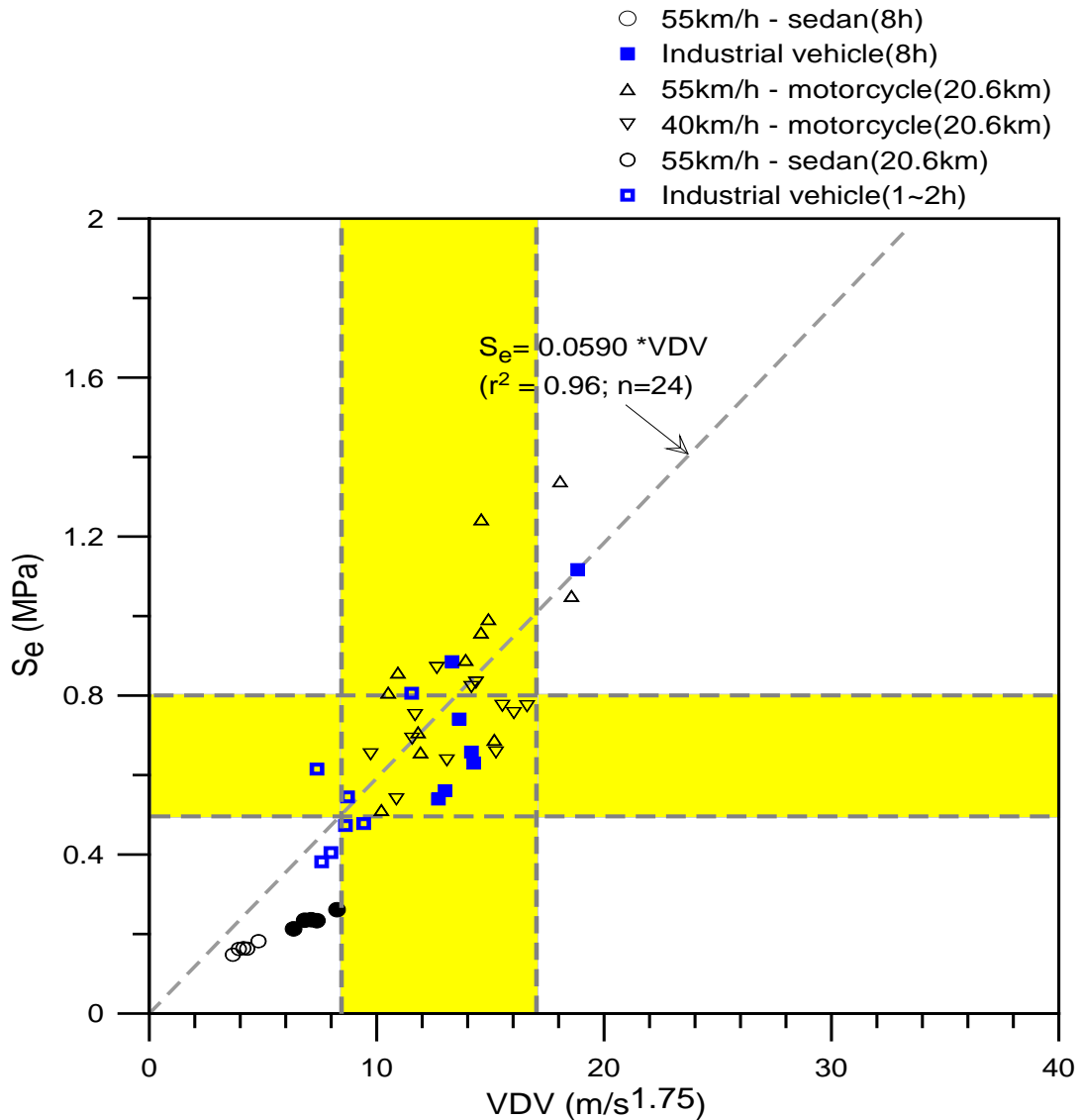


圖 6 VDV與 S_e 之實際測量值與其 8-hr估計暴量值分佈

伍、 結論

ISO 2631-5 為針對具有多次衝擊性全身振動所制訂的規範，本研究所得結果與少數已知之研究結果有若干相符之處，ISO 2631-5 建議當 $S_{ed} < 0.5$ MPa 時代表健康危害的機率低， $S_{ed} > 0.8$ MPa 時代表健康危害的機率高。但 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 兩規範的使用時機並沒有明顯的區隔方式，因此對於具有多種複雜加速度特性之振動分析，應同時進行 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 所建議之分析，並透過評估結果之比較來判定對人員之健康危害程度。Marjanen 的研究(2005)經由 158 次的振動測量顯示，RMS 指標未能善加考慮暫態性的衝擊，因此使用 S_e 對於健康影響的評估會較 RMS 嚴格[17]。Alem (2005)的研究資料顯示 S_{ed} 值與 8-hr 之 VDV 有正相關，且 S_{ed} 對於具有衝擊性的振動要比 VDV 及 RMS 更敏感[10]。

本研究結果顯示採用不同的評估規範可能會獲得不同的評估結論，根據 ISO 2631-5 規範 0.8MPa 之暴露極限推算，挖土機（測試編號 4，表 2）挖石填載作業之容許時間僅

有 1.1 小時；另（測試編號 1，表 2）挖土機的 8-hr 振動暴露預測值僅高於 S_e 的暴露限制，並介於 VDV 的健康指導警戒區域之間，若根據 S_e 之暴露極限推算，該項作業之容許時間僅有 4.4 小時，但若依 ISO 2631-1 的 RMS、VDV 值推估，其容許暴露時間則會超過 24 小時，顯現兩種規範可能對同一振動暴露的健康危害做出不同的判定。

研究中採用 RMS 進行評估所得結果即明顯比 VDV 及 S_e 低估了具有衝擊性振動的機車騎乘，根據實際騎乘的經驗，RMS 所估算每日 8 至 10 小時的容許暴露時間，幾乎所有的騎士都無法承受。相較之下， S_e 值對速度所產生的衝擊振動具有最敏感的反應，當速限由 55 km/h 降至 40 km/h 時，機車騎乘的 S_e 值平均下降 21% 而 VDV 僅減少了 7%。

對於全身振動暴露之分析，必須同時考慮 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 規範。由於測量前對於實際振動的不確定性，加上 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 對振動暴露劑量的評估方法不同所造成的變異，若僅單獨採用其中一種評估方法，有可能會低估了全身振動所造成的健康危害。

本研究測量各類車輛駕駛之振動暴露，透過全身振動測量評估的過程，可獲得我國現行勞工安全衛生設施規與目前 ISO 2631 相關規範對健康危害評估之差異，進而檢討現行規範之適用性與適用範圍及修法方向。並建立不同車輛駕駛之量化振動值，可提供行政單位對於全身振動危害作業之管制重點與方向，例如，對高振動危害之作業提出建議之容許暴露時間限制。

陸、 誌謝

感謝朝陽科技大學工業工程與管理系劉永平老師及各受測人員於現場量測的協助，僅此致謝。

柒、 參考文獻

1. Frymoyer, J.W., Newberg, A., Pope, M.H., Wilder, D.G., Clements, J., et al. (1984) Spine radiographs in patients with low-back pain. An epidemiology study in men. *Journal of Bone & Joint Surgery- American volume*. 66:1048-1055.
2. Boshuizen, H.C., Bongers, P.M., Hulshof, C.T. (1992) Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*. 17: 59-65.
3. Bovenzi, M., Zadini, A. (1992) Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*. 17:1048-1059.
4. Griffin MJ. (1998) A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. *J Sound and Vibration*. 215(4):883-914.
5. Hulshof, CTJ., Van Der Laan, G., Braam, ITJ., Verbeek, JHAM (2002) The fate of Mrs. Robinson :Criteria for recognition of whole-body vibration injury as an occupational disease. *Journal of Sound and Vibration*. 253(1):185-194.
6. Wasserman, D., Wilder, D., and Pope, M., (1997) Whole-body vibration and occupational work hardening. *JOEM*. 39(5): 403-407.
7. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2001；“工作環境安全衛生狀況調查---受雇者認知調查”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，台北，IOSH90-H304。
8. International Organization for Standardization. (1997) ISO2631-1. Mechanical vibration and shock— evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements. Geneva: ISO.
9. International Organization for Standardization. (2004) ISO2631-5. Mechanical vibration and shock— evaluation of human exposure to

whole-body vibration. Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. Geneva: ISO.

10. Alem N. (2005) Application of the new ISO 2631-5 to health hazard assessment of repeated shocks in U.S. army vehicles. *Industrial Health*. 43:403-412.
11. Khorshid E, Alkalby F, Kamal H. (2007) Measurement of whole-body vibration exposure from speed control humps. *J Sound and Vibration*. 304:640-659.
12. Liu YP, Chen HC., Chen CY. (2006) Portable data logger for worksite measurement of physical workload. *J. Medical and Biological Engineering*. 26(1):21-28.
13. 陳協慶 (2006) 手腕部肌肉骨骼傷害危害因子暴露調查研究, 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所委託研究報告, IOSH95-H102.
14. 陳協慶 (2007) 手-臂局部振動量測系統建置, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, NSC 95-2221-E-324-004.
15. Chen, J.C., Chang, W.R., Shih, T.S., Chen, C.J., Chang, W.P., Dennerlein, J.T., Ryan, L.M., Christiani, D.C., 2003. Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics* 46, 1075-1090.
16. Newell, G.S. and Mansfield, N.J. (2004) Exploratory study of whole-body vibration 'artefacts' experienced in a wheel loader, mini-excavator, car and office worker's chair. 39th United Kingdom Group Meeting on Human Responses to Vibration. 15-17 September, held at Ludlow, Shropshire, England.
17. Marjanen, Y., 2005. Using ISO 2631-5 as an additional whole body vibration evaluation method with ISO 2631-1 to include also transient shocks to the analysis. In: *Proceeding, 12th International Congress on Sound and Vibration*, 11-14 July, Lisbon, Portugal.