



你容易暈車嗎？

車輛暈車感性能 之量測與評估方法

中華汽車 林彥翔

一、前言

隨著人類生活水準的逐漸提升以及造車工藝的日益進步，人們對於車輛乘適性的品質要求自然愈來愈高，因此汽車廠對於研發生產更舒適性車輛的期盼也就日形殷切。如何藉由客觀之評估工具進行車輛振動乘適性分析研究及設計，即成為重要課題。

車輛之乘坐舒適性包含了乘車時人體所有感受，包括視覺、聽覺、觸覺等感官系統所接受之訊息。換言之，只要是因乘車而導致人體感到任何不適，皆屬於評斷車輛乘坐舒適性的品質優劣重點。而其中乘車時所產生之暈車感(motion sickness)則為車輛乘適性中相當重要的指標之一。

然而，目前國內對於車輛之暈車感特性，僅能經由主觀評價的方式予以確認，尚沒有客觀的試驗程序可提供作為車輛設計時的驗證及參考。主觀評價容易有因人而異的缺點，且產生暈車感的原因相當複雜，如評價者的情緒、經驗、身體狀況、乘坐時間等皆會影響暈車感的評價結果，故僅靠主觀評價並不能完整且全面性地對暈車感特性進行確認。

為使社會大眾對此議題有更進一步的了解，本文將針對暈車感的客觀量測技術進行研究與說明，

並規劃四個主題進行實車測試，比較不同車輛、駕駛者、行駛道路等條件，分析讓人體產生暈車感之差異，研究結果期望可以建立一套針對暈車感之客觀定量評估方法，使人體乘車舒適性之試驗更加深入及健全。

二、暈車感概述

很多人都有暈車的經驗，其實暈車感對人體的影響是很大的，輕則感到疲勞、身體不適，重則嘔吐、頭痛、甚至引發衰竭。在討論暈車感的評估方法之前，我們先將暈車感發生的原因大致可歸納為下述三類：

(一) 感覺器官的不協調造成暈車感

人體感覺器官的不協調是產生暈車感最主要的原因，人體內耳的前庭系統(vestibule)是負責平衡感受的器官，前庭有二個耳石(otolith)負責偵測水平和垂直的加速度訊號，同時有半規管(semicircular canals)負責偵測角加速度的訊號。當我們運動時，這些器官把感測到的訊息送到大腦來解讀，同時眼睛也提供眼前所見的運動狀態供大腦核對，多數時候所有的訊號輸入都是相互一致的，但若大腦對傳來的運動狀態與所見的視覺訊息不一樣，或是彼

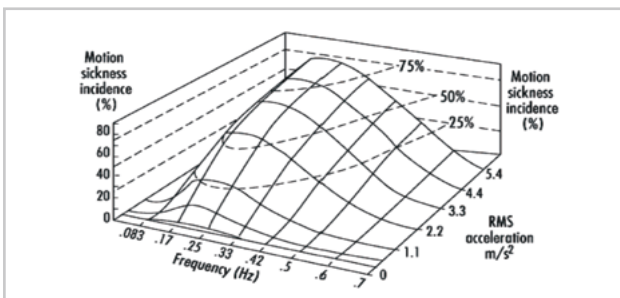
此之間有矛盾，就容易使大腦混淆而產生暈眩的感覺。

舉例來說，當乘客坐在行駛中的車輛看窗外景物時，景物是由左向右移動，但內耳的平衡器官卻告訴大腦，車子向前移動，如此就互相矛盾；或者當乘客在船艙內，平衡器官已感覺船在動，但其看到周圍的人、物、景色，都是靜止不動的，這又產生了矛盾；這些情況都是因為眼睛所看的與平衡感知器官所感覺的相互衝突，因而產生了所謂暈車或暈船的症狀。

(二) 低頻往覆振動造成暈車感

車輛、飛機或船舶的顛簸所產生頻率在0.1~0.5 Hz的低頻直線往覆振動，對人體的內臟和感覺器官刺激過強時，亦會導致發生暈車的現象。

根據McCauley於1976年所作的實驗研究[1]顯示，振動的強度、頻率、方向及人體承受振動的時間對暈車感的發生具有強烈的關聯性，垂直向頻率約為0.2 Hz的往覆振動最容易產生暈車感或嘔吐行為，其振動頻率、振動強度與暈車感發生率之關係如圖1所示。對一固定強度的往覆振動而言，在頻率超過0.2 Hz時，暈車感的發生率會隨著頻率的增加迅速地下降；當振動頻率達到1 Hz時，暈車感發生率降低到0.2 Hz時的十分之一。



▲ 圖1. 振動頻率、強度與暈車感發生率關係圖

(三) 人體個體差異或環境的影響

暈車感發生機率與人體個體的差異也有相當大的關聯，對外界振動刺激的反應越敏感的人越易暈車；同時心理因素也會影響暈車的發生率，焦慮、緊張的人較易暈車，內向的人比外向的人易暈車。此外，包括車室內的空調系統不佳，汽油、機油等氣味的刺激，也易引發暈車感。

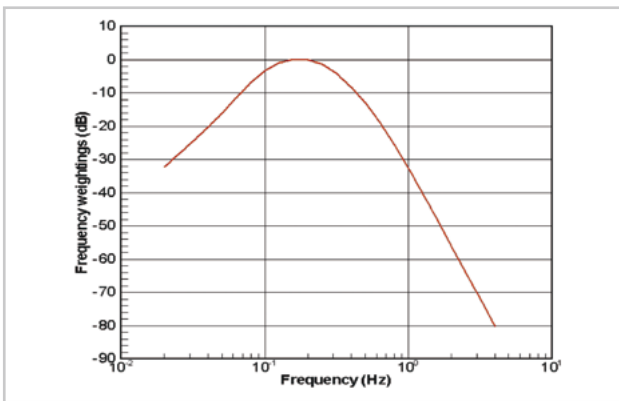
經由上述討論得知，可能造成人體於乘車時產生暈車感之原因很多，雖然個人特性因素對於乘車暈車感的發生佔有極大比例的影響，但對車輛設計者而言，期望可以了解車輛車身及懸吊系統設定對乘客暈車感發生之關聯性，故本文將先排除人因工程之因素，僅針對起因於路面入力造成車輛往覆運動之特性，來探討客觀評估暈車感性能之方法。

三、暈車感評估方法

由於人體產生暈車感的發生率，會隨著振動頻率、強度以及人體曝露於振動環境下的時間增加而增加；針對暈車感的評估方法，國際標準法規ISO 2631及British Standard 6941等定義了暈車感劑量值 (Motion Sickness Dose Value, MSDVz)，用以預測暈車感發生的機率。

簡單來說，暈車感劑量值的計算就是把人體曝露於振動環境下所有時間的振動加速度全部加總起來，但實際上，人體對不同頻率振動之敏感度皆不同，故振動對人體的影響並不是等效的，因此ISO 2631提出加權計算的觀念，在振動加總的過程中，加入了加權因子來計算各個頻率之振動實際上對人

體影響之程度，對於人體較敏感的頻率就給予較大的權值。ISO 2631所定義暈車感之加權因子曲線Wf如圖2所示，因人體對暈車最敏感的頻率為0.1~0.5 Hz，故在這個範圍所對應的權值最大，並隨著頻率的增加而遞減。經由加權與加總計算出來的暈車感劑量值，即可將振動量化成一個定量指標來評估暈車感。



▲ 圖2. 暈車感之加權因子曲線Wf

暈車感劑量值之計算，應儘可能考慮從振動開始發生到結束為止的全部時間，計算方式以垂直方向(Z-direction)經加權後之加速度均方根值的平方對振動發生之時間積分，如式1所示，若振動之環境為連續且趨近於固定之振動強度，則式1可以簡化為式2計算，但時間不得小於240秒。

$$MSDV_z = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (m/s^{1.5}) \dots\dots (式1)$$

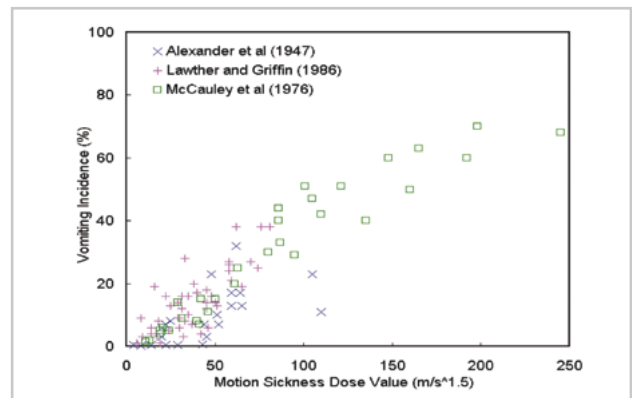
其中 a_w ：Z軸向加權加速度均方根值 (m/s^2)

T：曝露於振動環境之總時間 (sec)

$$MSDV_z = a_w T_0^{1/2} \quad (m/s^{1.5}) \dots\dots\dots (式2)$$

其中 T_0 ：曝露於振動環境之時間 (sec)

透過以上方程式之計算，可將暈車感試驗結果量化，並據以判斷車輛內乘員易發生暈車感之程度，作為評價車輛暈車感性能之基準。其計算出之暈車感劑量值MSDVz與暈車感發生之關聯性，可參考M. J. Griffin與一些國外學者歷年來之研究[1~3]，歸納統計暈車感劑量值與嘔吐發生率之關係，如圖3所示。



▲ 圖3. 暈車感劑量值與嘔吐發生率之關聯性

依據圖3的統計資料做進一步分析，成人可能發生嘔吐之機率約與暈車感劑量值成三分之一倍的線性關係，故上述研究定義一關聯因子 $K_m=1/3$ ，用以計算嘔吐可能發生之機率，如式3所示。

$$Vomiting Incidence (VI) = K_m * MSDV_z \quad (\%) \dots\dots (式3)$$

除此之外，有些研究[4][5]將暈車感劑量值MSDVz運用於預測人體感受到不舒適的程度，其定義一不舒適指數(Illness Rating, IR)，並劃分為四個等級，如式4所示：



Illness Rating (IR) = 0.02 MSDVz.....(式4)

其中

IR = 0我覺得很好 I felt all right

IR = 1我覺得稍微不舒服 I felt slightly unwell

IR = 2我覺得非常不舒服 I felt quite ill

IR = 3我覺得遭透了 I felt absolutely dreadful

四、實車測試

上述暈車感的評估方法已被大量使用於鐵路、飛機、船舶與車輛等相關研究領域，本文亦將使用其方法進行暈車感之實車研究測試。本次研究使用三種不同型式之試驗車輛(Vehicle A、B、C)，搭配駕駛者三人(Driver L、S、W)進行試驗，其開車經驗皆超過十年。

試驗道路之選擇必須盡量避免因車多或紅綠燈等因素導致的加速或急煞車之行爲，亦需盡量模擬台灣地區駕駛人常使用之道路狀況。綜合上述考量，選擇楊新公路(楊梅→新埔)及68號快速道路(竹東→南寮)作為試驗路段，楊新公路可模擬駕駛者於山路行駛之狀況，其包含多處彎道及兩個紅綠燈，道路狀況稍差，常有短暫之交通延遲，試驗時不限制車速，依駕駛者之習慣行駛；68號快速道路竹東至南寮路段無紅綠燈，道路狀況尚佳，但有包含多處接縫路及些許補修路，試驗時限制駕駛者以固定車速80 km/hr行駛。

本試驗採用PCB Model 3801 D1FB3G加速規架設於試驗車後席座椅下方之底板上，量測試驗車底板垂直向之振動加速度。車輛走行時間會影響暈車

感之發生，故暈車感劑量值之計算與時間相關聯，且計測時間不宜太短，考量試驗道路長度及快速傅立葉運算時間，本次試驗所設定之暈車感計測時間為1280秒，即約22分鐘。數據之處理以5 Hz 低通濾波器進行濾波，並計算暈車感劑量值及加速度功率頻譜密度響應(power spectral densities, P.S.D)進行研究分析，使用之頻率解析度為0.02 Hz。

本文之實車測試共規劃四項研究主題進行試驗，整理說明如下表：

▼ 表1. 暈車感研究測試主題整理

主題	試驗車	試驗道路	駕駛者
1. 試驗之重覆性	A	楊新公路 / 68快速道路	S
2. 試驗道路暈車感比較	A	楊新公路 / 68快速道路	S
3. 試驗車暈車感比較	A B C	楊新公路 / 68快速道路	W
4. 駕駛者暈車感之比較	A	楊新公路 / 68快速道路	L S W

(一) 試驗之重覆性

為討論執行暈車感試驗之重複性 (repeatability)，針對同一台試驗車(Vehicle A)使用相同的試驗儀器及方法，由同一駕駛者(Driver S)進行量測多次，並計算其變異。選擇進行試驗之道路為楊新公路及68號快速道路，每條試驗道路各量測20筆資料，其試驗結果如表2所示。

▼ 表2. 暈車感試驗數據的變異程度

MSDVZ (m/s ^{1.5})		楊新公路	68快速道路
	平均值		6.48
標準差		0.36	0.06
中位數		6.46	1.72
全距		1.46 (5.95-7.41)	0.22 (1.66-1.88)

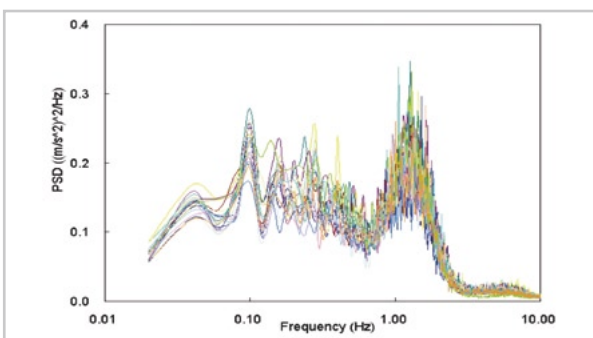
由試驗結果顯示，於68快速道路執行試驗之計測數據較楊新公路集中，此乃因為駕駛者於山路中

行駛，易受其他車輛及道路狀況影響，轉向時之速度及角度等試驗條件不易被控制，且道路之入力條件變動性大。反之，駕駛者於快速道路上行駛，大多為直行路段，且車速可保持固定，試驗條件容易被控制，故於山路執行試驗，其試驗數據之變動程度會較快速道路大。

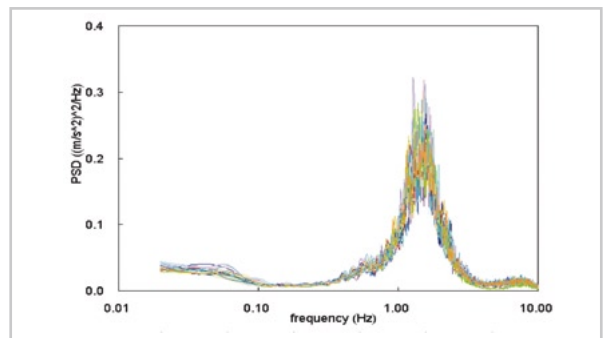
(二) 試驗道路暈車感比較

由上述研究主題之試驗結果更進一步討論試驗道路與暈車感發生之關聯性，在楊新公路走行之暈車感劑量值為6.48，快速道路為1.73，估算嘔吐發生機率分別為2.16%及0.58%，故在山路走行的確較容易發生暈車現象，且發生嘔吐之機率約為快速道路走行之3.72倍。

計算加速度之功率頻譜密度響應如圖4及圖5所示，在楊新公路之試驗數據變動性較大，其於頻譜圖中出現兩個峰值 (0.1、1.5 Hz)，根據ISO 2631，影響暈車感發生最敏感之頻率範圍為0.1 ~ 0.5 Hz，楊新公路在這個頻率範圍內之振動強度明顯較快速道路大，顯示在楊新公路走行較容易顯現出暈車感的特性；快速道路量測之數據相當集中，振動強度之峰值出現在1.5 Hz，但0.1 ~ 0.5 Hz之頻率範圍內之振動強度相當小，故不易顯示出暈車感的特性。



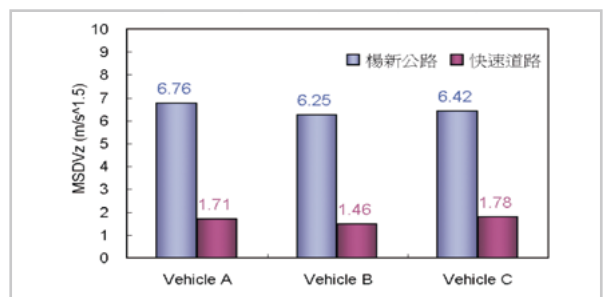
▲ 圖4. 駕駛者S試驗車A於楊新公路走行之PSD



▲ 圖5. 駕駛者S試驗車A於快速道路走行之PSD

(三) 試驗車暈車感之比較

為討論不同試驗車對暈車感發生之差異，選擇三台試驗車 (Vehicle A、B、C)，以同一位駕駛者 (Driver W) 進行試驗，走行道路包含楊新公路及68快速道路，每台試驗車各進行五次試驗，計算其暈車感劑量值之平均值進行比較，如圖6所示。

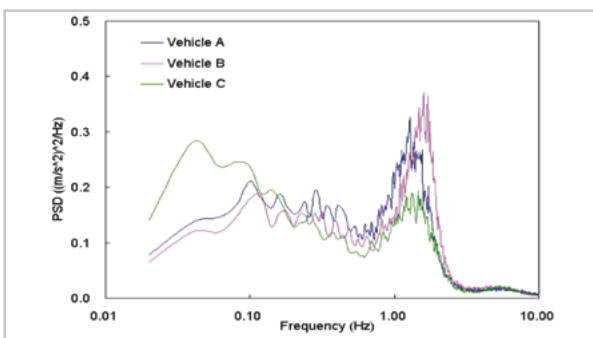


▲ 圖6. 不同試驗車暈車感之試驗結果

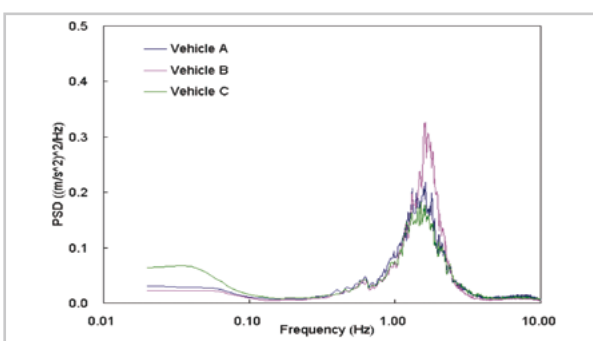
不論在山路或快速道路，試驗車B之暈車感劑量值都是最小的，代表試驗車B具有較佳抑制暈車感之性能；在山路走行以試驗車A之暈車感劑量值最大，試驗車C次之，故試驗車A有較易發生暈車感的現象；快速道路則以試驗車C有最大的暈車感劑量值，但約略與試驗車A相當，兩者差異並不大。

比較三台試驗車之頻譜響應，如圖7及圖8所示。試驗車A與B具有相似之頻譜響應，試驗車B在頻率0.1 ~ 0.5 Hz之振動強度最小，故計算出之暈車感劑量值最小。雖然試驗車B在頻率1~2 Hz、試驗車C在頻率小於0.1 Hz具有較大之振動強度，但此範圍並非影響暈車感最敏感之頻率範圍，所加權之權值並不重，故貢獻暈車感劑量值之計算並不大。

在實車測試之過程中，駕駛者並不易評價試驗車輛暈車感之差異，主要乃因為影響暈車感之因素太複雜，包含人員乘坐姿勢、精神狀態、注意力、評價時間等，皆容易影響評價人員之判斷。但由本研究的試驗結果顯示，經由暈車感劑量值的計算，可以提供一個量化的數據來判定試驗車暈車感之易發程度，從而客觀地協助評價暈車感性能之優劣。



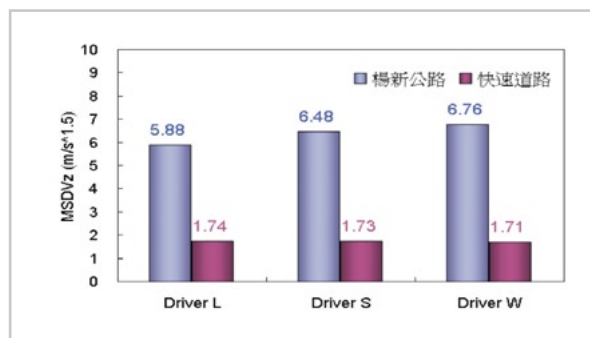
▲ 圖7. 不同試驗車於楊新公路走行之PSD



▲ 圖8. 不同試驗車於快速道路走行之PSD

(四) 駕駛者對暈車感比較

為討論駕駛者之操控習慣對暈車感發生之差異，選擇同一台試驗車(Vehicle A)，以不同駕駛者(Driver L、S、W)進行試驗，走行道路包含楊新公路及68快速道路，每位駕駛者各進行五次試驗，計算其暈車感劑量值之平均值進行比較，如圖9所示。

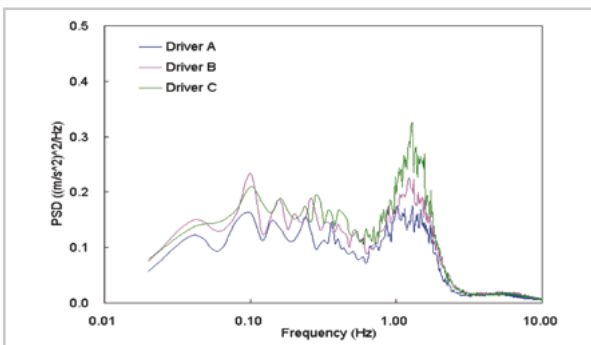


▲ 圖9. 不同駕駛者暈車感之試驗結果

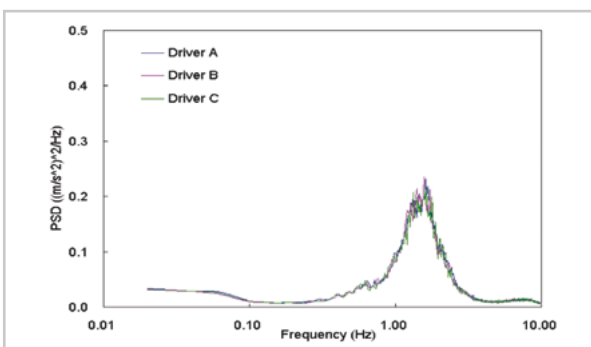
不同駕駛者在楊新公路所量測到之暈車感劑量值，以駕駛者W最大，駕駛者L最小，故乘客對駕駛者W之駕駛行為較容易產生暈車感。但在快速道路進行試驗三者差異並不大，這是因為快速道路之試驗條件(定速、直行等)容易被限制，而在山路試驗因為沒有限制車速及行駛條件，駕駛者依自己之喜好行駛，因此試驗結果顯示了三位駕駛者在駕車習慣上的差異。

比較三位駕駛者之頻譜響應，如圖10及圖11所示。三位駕駛者之頻譜響應皆相當類似，在楊新公路駕駛者W之振動強度較駕駛者L與S大，故計算出之暈車感劑量值最大；在快速道路三位駕駛者之頻譜響應則幾乎沒有差異。

依據研究三及研究四之試驗數據進一步分析不同試驗車與駕駛者之變異性[91]，如表3所示。以同一駕駛者W，分別駕駛三台試驗車五次量測到之暈車感劑量值(楊新公路平均值6.48、標準差0.78；快速道路平均值1.65、標準差0.15)，與三位駕駛者，各自駕駛同一台試驗車A五次量測之數據(楊新公路平均值6.41、標準差0.52；快速道路平均值6.41、標準差0.52)進行比對，比對結果顯示，不論在山路或快速道路，不同車輛導致暈車感發生之差異性皆大於駕駛者。



▲ 圖10 不同駕駛者於楊新公路走行之PSD



▲ 圖11 不同駕駛者於快速道路走行之PSD

因為車輛走行時之運動行為，低頻的前後向運動主要是來自於車輛的加速及煞車行為；低頻的側向運動主要是來自於駕駛員對車輛轉向之操控，故水平方向之運動主要決定於駕駛員之操控行為；而

垂直向運動則主要是受到車輛底盤懸吊特性、車重及尺寸所影響，人為操控之關聯性較小。故即使不同駕駛者在山路走行之駕駛條件不易被控制，其針對垂直向振動所量測之暈車感劑量值亦可以有效突顯不同試驗車之差異，作為評價試驗車暈車感性能之參考。

▼ 表3. 不同駕駛者與試驗車之變異性

Testnumber	MSDVz (m/s ^{1.5})			
	Driver W Vehicle ABC		Driver LSW Vehicle A	
	楊新公路	快速道路	楊新公路	快速道路
1	7.30	1.76	5.57	1.72
2	6.22	1.81	6.02	1.72
3	7.28	1.86	6.28	1.84
4	6.51	1.72	5.83	1.70
5	6.51	1.74	5.72	1.70
6	6.05	1.44	6.17	1.72
7	6.63	1.39	6.13	1.66
8	5.85	1.46	6.81	1.78
9	5.02	1.51	6.81	1.68
10	7.71	1.52	6.93	1.88
11	6.25	1.82	7.30	1.82
12	6.40	1.71	6.22	1.71
13	6.16	1.62	7.28	1.62
14	5.38	1.59	6.51	1.59
15	7.92	1.82	6.51	1.82
平均值	6.48	1.65	6.41	1.73
標準差	0.78	0.15	0.52	0.08

五、結論

車輛走行時低頻往覆之振動頻率約在0.1~0.5 Hz之間，最容易導致暈車感之發生。由國外相關研究文獻及統計資料顯示，量測車輛走行過程中之振動加速度所計算出之暈車感劑量值，可以客觀地評估車輛暈車感性能之優劣，且其與人體發生暈車嘔



吐之機率具有強烈的關聯性。

而依據本研究所規劃的四個主題，進行實車測試結果，在快速道路走行試驗之重覆性較山路好，但不易顯示出暈車感的特性。反之，在山路走行車輛產生小於1 Hz的低頻振動明顯較快速道路大，且會在人體產生暈車感最敏感的頻率0.2 Hz附近出現峰值，無論是不同試驗車或駕駛者，結果都是選擇在山路進行試驗會較容易比較出其差異。

再者駕駛者之駕駛習慣及車輛之型式皆會影響暈車感之發生，依照ISO2631所定義之暈車感劑量值僅針對垂直向振動進行計算，故容易突顯出車輛底盤懸吊、諸元設計與暈車感發生之關聯性，即使駕駛者之駕駛習慣不盡相同，暈車感劑量值仍可以有效評估試驗車之暈車感性能。

近年來亦有研究指出前後及側向等水平方向的低頻往覆振動較垂直方向更易導致暈車感[5][6]，但上述研究之水平向加權因子並未被明確訂定，且沒有大量足夠的研究資料予以佐證，故目前仍在研究的階段，尚未被ISO2631所採用。

整體來說，車輛的前後、側向運動主要取決於駕駛者的操控行為及其本身對暈車感的敏覺程度。故未來研究之方向，可以在相關研究資料足夠的情況下，同時進行三軸向(x、y、z)振動之量測，方能更進一步討論人為操控對暈車感之影響，或車輛底盤懸吊設定對水平向運動之抑制能力，使實車暈車感之評估方法更加完整。

參考文獻：

- [1] McCauley ME, Royal JW, Wylie CD, et al. "Motion sickness incidence: exploratory studies of habituation, pitch and roll, and refinement of a mathematical model." Goleta, CA: Human Factors Research Inc.1976.
- [2] Alexander SJ, Cotzin M, Klee JB, Wendt GR. "Study of motion sickness: The effect upon sickness rates of waves of various frequencies but identical acceleration. ", J Exp Psychology, 1947.
- [3] Lawther A. and Griffin, M.J. "Prediction of the incidence of motion sickness from the magnitude, frequency and duration of vertical oscillation " Journal of the Acoustical Society of America, 82, 1987.
- [4] Benson AJ. Motion Sickness. In: Ernsting J, King P, eds. Aviation Medicine, 2nd ed. London, UK; Butterworths.1988.
- [5] Mark Turner and MJ Griffin, "Motion sickness in public road transport : The effects of driver, route and vehicle", Ergonomics, 1999.
- [6] MJ Griffin and MM Newman, "An experimental study of low-frequency motion in cars", Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering No.D01704, 2004.
- [7] JF Golding, D.Phil., and Martine Kerguelen, "A comparison of the nauseogenic potential of low-frequency vertical versus horizontal linear oscillation", Aviation, Space, and Environmental Medicine, June, 1992.
- [8] International Organization for Standardization, "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part1: General requirements", ISO 2631-1, 1997.