

## 正撞氣囊之台車衝擊試驗模擬分析

鄧作樑<sup>1</sup> 戴紹峰<sup>2</sup> 許哲綱<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 修平技術學院機械工程學系

41280 台中市大里區工業路 11 號

<sup>2</sup> 大葉大學機械與自動化工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

### 摘要

正面碰撞為車禍發生比例與死亡率最高的碰撞事故，因此，為了有效降低乘員的傷亡，各大車廠不斷的研發智慧型的被動安全系統，其中正撞氣囊為主要的裝置之一，氣囊主要可緩衝乘員頭部在事故中的衝擊力，以及避免與車內結構接觸碰撞導致受傷與死亡。為了證實正撞氣囊在碰撞事故中的防護性能，必須進行各式安全性法規檢測。由於各項安全檢測及碰撞試驗的成本過於龐大且重複性低，故各大車廠及氣囊研發單位為節省成本及人力資源，採用電腦輔助工程 (computer aided engineering, CAE) 分析工具取代高成本的實驗測試。本研究首先以 MADYMO 軟體建立正撞氣囊數值模型；為評估氣囊模型的安全性，並進行台車衝擊試驗數值模擬，並分析人偶損傷程度，以評估所設計之正撞氣囊模組對乘員保護的安全性與有效性。為驗證本研究氣囊模型與碰撞測試數值模擬的正確性，相關模擬結果並與實驗測試結果進行比對。本研究除可建立國內車輛碰撞數值模擬分析能量，並可藉由氣囊數值模擬程序提供車廠及相關研究單位對正撞氣囊設計與改良之參考。

**關鍵詞：**正面碰撞，氣囊，台車衝擊試驗，MADYMO

## Simulation Analysis of Sled Test of Frontal Airbag

TSO-LIANG TENG<sup>1</sup>, SHAO-FENG DAI<sup>2</sup> and ZHE-GANG XU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Hsiuping Institute of Technology

11 Gongye Rd., Dali Dist., Taichung City 41280, Taiwan, R.O.C

<sup>2</sup> Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University

No. 168 University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

### ABSTRACT

Frontal impact collisions are the most frequent cause of serious motor vehicle accidents. Many protection devices are widely used in vehicles for reducing the severity of occupant injury. Airbags are one of the more effective occupant restraint systems for preventing injury in the case of an automobile collision. Airbags can cushion crushing forces and reduce the chances of the head and upper body of the occupant striking some part of the vehicle interior. To develop and assess an effective and safe airbag for occupant protection, sled and crash tests must be performed. Additionally, considering occupant injuries is necessary for conforming to safety regulations. Real car

crash tests are complex and expensive; therefore, CAE methodologies can increase product development process efficiency. As such, computer simulation is an economical and time efficient alternative to physical testing. This study discusses airbag module technologies in MADYMO, having created a finite element model of an airbag using the MADYMO software. To assess the safety of the airbag module, numerical simulations of a sled test were performed. This study also discusses the severity of dummy injury. Thus, the safety and availability of airbags for occupants can be assessed. To verify the accuracy of the proposed airbag module, simulation results are compared with those obtained from experimental tests. These numerical procedures can establish the simulation capability of car crash tests. The results indicate that the numerical model proposed in this study has considerable potential for guiding the future development of the safety and efficiency of airbags.

**Key Words:** frontal impact, airbag, sled test, MADYMO

## 一、前言

正撞氣囊為汽車被動安全系統之一，主要為緩衝乘員在前撞事故中頭部的運動，以防止與車內裝結構接觸碰撞，同時分散對乘員胸部的衝擊力。氣囊裝置的使用已明顯提高了汽車乘員的安全性，可有效減少事故的死亡率及降低人體的受傷程度。1984年美國就將安全氣囊納入法規，制定了《聯邦汽車安全標準》，對包括氣囊在內的汽車安全部件進行規範；歐洲、日本也都有相對應法規進行嚴格的汽車安全監管，且從1990年開始，工業發達國家已經強制實施所有新車型必須安裝前方碰撞安全氣囊。美國生產的轎車在1995年下半年開始將氣囊列為標準配備；歐洲、日本新生產轎車氣囊安裝率也幾乎達到100%，我國從上個世紀末也開始實現新型轎車全面安裝駕駛座的安全氣囊。隨著氣囊普及率的提高，如何加強安全氣囊的性能，充分展現其保護效益，並限制其負面作用是當前氣囊應用發展中重要的研究主題。

一般為確定車輛被動安全系統能否符合預期的安全功能，汽車製造商均成立實車碰撞實驗室來進行相關試驗，以了解車輛撞擊後的真實情況，並作為評估汽車防護安全性的參考依據。實車碰撞測試雖然能直接分析評估車輛的安全性，然而進行實車測試後因車體遭受到碰撞損壞而無法重複使用；再加上碰撞實驗所須的費用極高，因此發展了台車衝擊實驗室。台車衝擊實驗是一種模擬實車前撞或後撞的測試實驗，一般可用來評估車輛安全帶、座椅拘束系統和空氣囊等安全輔助系統之效能，相較於整車碰撞實驗，台車衝擊實驗具有可重複性及測試成本較低之優點。此台車衝擊試驗可充分模擬整車碰撞之動態反應及計算乘員頭、頸及胸等各部分之損傷值。為能確保氣囊對乘員的安全以及符合各國之車

輛安全性法規要求，在氣囊系統的設計過程中，皆須針對所設計氣囊之品質與安全性進行一系列之測試例如氣囊靜、動態測試、台車衝擊測試、實車碰撞測試等，經由上述各種不同的氣囊安全性試驗及車輛碰撞法規測試中，再依據人偶損傷值即可評估氣囊等被動安全裝置對前撞事故時乘員的防護性。

一般從事車輛撞擊與安全防護配備等研究可以實驗法及數值法進行分析探討，其中實驗法所耗用之成本高且重複使用性低，數值法則以電腦計算模擬為主，所耗之成本遠低於實驗法。由於車輛被動安全性之研究若完全採用實驗測試將增加研發時程與成本，故有效運用計算機輔助工程（computer aided engineering, CAE）的技術於車輛撞擊模擬與試驗的分析研究上，可達到增進產品設計開發之品質與效能。國內、外有關氣囊電腦模擬相關研究情形簡述如下：Deng [5] 利用 LS-DYNA 分析安全帶與氣囊同時拘束人偶之動態行為，探討安全帶受力大小及乘客各部位受傷之加速度值。Lin [6] 等人利用 PAM-CRASH 有限元素分析軟體分析安全帶與氣囊同時拘束人偶之動態研究，探討安全帶受力大小及乘客各部位受傷之加速度值。Marzougui [7] 等人依據 Ford Taurus 汽車模型、Hybrid III 實驗人偶及駕駛座氣囊，以 LS-DYNA 有限元素軟體進行整車 30 mph 速度正面撞擊剛性障礙物之模擬。Xu [9] 等人利用 Hybrid III 實驗人偶於 30 mph 速度下進行台車衝擊實驗，評估有無氣囊及有無安全帶台車環境中人體損傷程度。鄭嘉華 [3] 應用分析軟體 MADYMO 3D 建立人偶模型並建構乘客座氣囊，應用氣囊與衝擊人偶動態碰撞過程與衝擊人偶頭部損傷（head injury criteria, HIC）值及胸部的受力情形來判別較佳之氣囊質流率。藍海濤 [4] 等人利用 MADYMO 分析軟體探討氣

囊以均壓 (uniform pressure, UP) 與計算流體動力學 (computational fluid dynamics, CFD) 兩種不同展開模式比較氣囊靜態展開的差異, 並進行軀幹撞擊測試與台車衝擊試驗, 將模擬結果與實驗進行分析比對, 以證實氣囊數值法的正確性。楊書銘 [1] 依據 Hybrid III 50% 實驗人偶建構有限元素可變形人偶模型, 並利用 LS-DYNA 建立台車衝擊測試環境, 探討不同條件下之人體動態反應, 其中討論座椅及安全帶的相關試驗, 並將人偶動態行為之模擬結果與台車衝擊試驗結果進行比對。蔡智雄 [2] 利用 LS-DYNA 建構有限元素氣囊模型, 以氣囊靜態展開測試、頭部撞擊測試、軀幹撞擊測試三種數值測試驗證氣囊, 並以 CAE 設計正撞台車撞擊模擬, 探討正撞氣囊對前乘員的安全防護效益。

隨著電腦軟硬體科技發展快速, 使得電腦輔助工程與分析方法不斷突飛猛進, 目前已成為發展汽車工業及評估相關安全裝備之必備工具。利用有限元素方法建構測試人偶與衝擊台車模型進行氣囊之台車撞擊試驗模擬, 可同時節省成本並兼顧人道立場, 以及不必要的實驗操作失誤與危險。目前車輛撞擊所適用之商用套裝軟體有 LS-DYNA、MSC/Dytran、ADAMS 與 MADYMO 等, 其中 MADYMO 為結合多體 (multi-body, MB) 動力學與有限元素 (finite element, FE) 計算的多功能軟體, 可快速的進行建模且運算時間短, 較其他分析軟體更有效率的進行研究, 成為目前各國汽車工業最基本的數值分析工具之一。為能應用 CAE 技術建立正撞氣囊數值模擬分析工具, 節省龐大的氣囊開發成本, 本研究首先以 MADYMO 軟體建立正撞氣囊數值模型; 為評估氣囊模型的安全性, 並進行台車衝擊試驗數值模擬, 並分析人偶損傷程度, 以評估所設計之正撞氣囊模組對乘員保護的安全性與有效性。為驗證本研究氣囊模型與碰撞測試數值模擬的正確性, 相關模擬結果並與實驗測試結果進行比對。本研究除可建立國內車輛碰撞數值模擬分析能量, 並可藉由氣囊數值模擬程序提供車廠及相關研究單位對正撞氣囊設計與改良之參考。

## 二、正撞氣囊數值模型

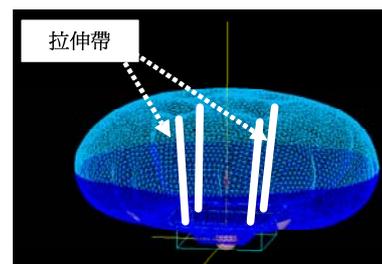
本研究將利用 MADYMO 分析軟體之空氣囊模組理論建構一正撞氣囊數值模型, 建構之氣囊袋型為內含四條拉伸帶以及兩個圓形洩氣孔的圓形正撞氣囊, 如圖 1 所示, 其中拉伸袋材質與氣囊袋相同。首先利用軟體中 Folder 程式建構氣囊模型, 其優點是可以直接建構上、下兩層圓形的氣囊



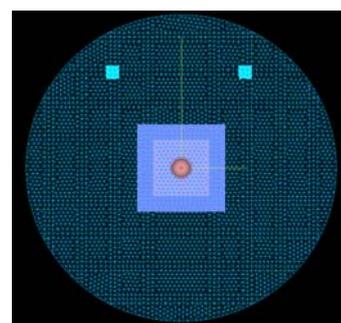
圖 1. 正撞氣囊實品圖

袋, 直接輸入袋型尺寸與上、下層間距並選擇元素的大小, 而 Folder 程式本身就具有相當完整的摺疊功能, 因此更能符合各家廠商對氣囊在摺疊上的設計考量, 以達到真實模擬的目標。另外, 氣囊上的網格元素採用以三角形薄膜元素 (MEM3), 也是最適合氣囊網格化的元素形狀, 正撞氣囊有限元素模型如圖 2 所示; 另外, 也可以使用其他有限元素軟體建構模型, 如 LS-DYNA 前處理 FEMB、Hypermesh 等軟體作初始化的建模, 完成建模後可利用 LS-POST 後處理器進行氣囊摺疊。

氣囊的 3D 幾何外型建構完成後, 再建立外部的洩氣孔與內部拉伸帶的模型, 接著輸入參數編輯氣囊數值模型, 所輸入的參數包括: 氣囊材料性質、拉伸帶、洩氣孔、充氣器等, 參數設定完成後, 將氣囊置入一個金屬容器。氣囊袋織



(a) 等視圖



(b) 上視圖

圖 2. 正撞氣囊有限元素模型

物的材料性質如表 1 所示，採用線性正交材料來描述其氣囊行為。氣囊內部拉伸帶的建模方式是依真實位置，以兩節點零質量所構成的線性彈簧來描述，並定義其原始長度和剛性，由於材料相同，所以剛性也使用一樣的參數。而洩氣孔建模的方式可依氣孔真實的位置，在前處理中建立好網格區分；或是可由 MADYMO 中洩氣孔的模型，選取一個元素或是一個範圍區域，對其區塊面積作縮放的修正，皆可以定義其洩氣孔的洩氣率。

充氣器的噴嘴形狀設定為圓形，內部的氣體質量、含量百分比等資料；且氣囊外部以一大氣壓和常溫 23°C 的條件，而充氣器內部以 944.7°K 的恆溫下進行模擬；由 60 公升壓力槽所量測到的 P-T 曲線再以 MADYMO 中的 MTA 轉換程式可換算出質量流率曲線，如圖 3 所示。

### 三、台車衝擊試驗數值模型

正撞台車衝擊試驗的數值模型包括：車身模型、安全帶模型、轉向系統模型（包含氣囊）及人偶模型，數值模型係以 MADYMO 分析軟體來建構台車衝擊測試環境，配置內建驗證過的人偶模型，並以安全帶系統約束人偶模型，最後再進行台車衝擊試驗模擬，以評估氣囊安全防護性能。

#### （一）車身模型

衝擊台車數值模型係依據實車外型建構 3D 車身模型，

表 1. 氣囊織物材料性質

Young's modulus (radial)(N/m <sup>2</sup> )	3.66×10 <sup>8</sup>
Young's modulus (woof)(N/m <sup>2</sup> )	3.43×10 <sup>8</sup>
Poisson's ratio	0.3
Thickness (m)	0.0003
Density (Kg /m <sup>3</sup> )	1.2×10 <sup>3</sup>
Shear modulus (N/m <sup>2</sup> )	1.385×10 <sup>8</sup>

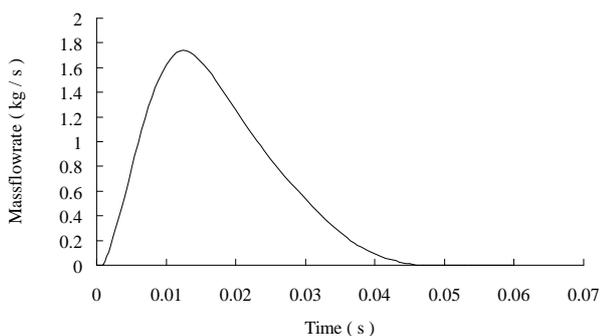


圖 3. 質量流率與時間曲線

首先依廠商繪製 CATIA 曲面模型製作成 IGES 檔案，再以 Hypermesh 為前處理彙入車體模型。為了簡化車體模型及運用運動關節如：平移關節、旋轉關節等方式模擬車體的運動行為，將選用剛體模型進行模擬，其差異在於 MADYMO 的有限元模型無法直接建模，需經由前處理建構模型將座標、元素編號寫入模型中；而剛體模型則可以直接建構平板與橢球模型。接著利用 Hypermesh 量測車體結構及相對位置，在剛體模型建構車身中包括：儀表版、防火牆、地板、轉向系統、座椅等，如圖 4 所示。MADYMO 剛體模型與有限元軟體的理論不同，在碰撞過程中的變形與否，決定於預先設定的運動數據，直接描述變形量或是運動方式，整個車身模型為運動關節與剛體結構所組成，並根據撞擊所產生的形變作設定，以模擬其撞擊物理現象。

正面零角度的完全碰撞係以正駕駛座椅下方靠近 B 柱的感測器所量測到的減加速度波形作為台車衝擊曲線（crash pulse），正撞台車因撞擊所產生的變形以運動關節描述，而正撞台車的侵入量依據撞擊試驗數據輸入模型中，由於地板、防火牆、儀表板等平板的位移量非常小，因此將其運動關節鎖住，視為不變形的剛體。

#### （二）安全帶模型

安全帶的種類甚多，但其架構主要以織帶、捲收器、帶扣、長度調整器組成。在 MADYMO 中安全帶的模型建立可分為：織帶模型、捲收器模型、預緊器模型、限力器模型等，以配合系統需求設定。在台車模型中以安全帶模型把人偶固定在座椅上，而座椅採用剛體平板建構椅背及椅墊，以旋轉關節作為連結，椅墊側邊有帶扣預緊器機構可與安全帶相連接，使用橢球模型建構扣鎖與把柄，以旋轉關節連接在座椅側邊；平移關節連接扣鎖與把柄，並設定時間感測器引爆帶扣預緊器將其解鎖，此刻平移關節會依據給定的時間向下預拉產生預緊作用，避免人偶產生過大的位移量。

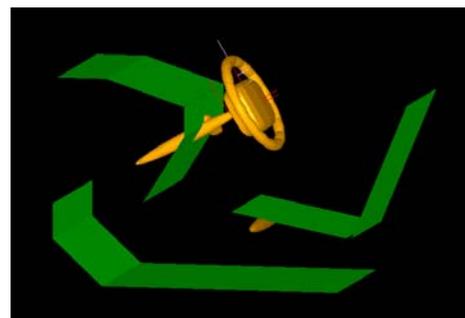


圖 4. MADYMO 正撞台車多體模型

MADYMO 的安全帶模型有三種形式，分為多體 (MB) 安全帶、有限元素 (FE) 安全帶和混合式的安全帶，在多體安全帶設定上以滑環 (BELT\_TYING) 連接多體安全帶 (BELT\_SEGMENT)，緞帶接觸的端點則是人偶身上的接點，而人偶身上的接點分為鎖骨 (clavicle)、肋骨 (rib)、腹部 (abdomen) 等位置，如圖 5 所示。安全帶和人體間的摩擦可透過織帶的摩擦係數進行模擬，因上 D 環和帶扣 D 環存在摩擦力，安全帶和 D 環之間是平移的形式，使 D 環兩邊的力不相等，此時安全帶所傳遞的力是根據平移理論計算的。

### (三) 轉向系統模型

轉向系統數值模型以橢球模型建構，以球關節連接轉向機柱；方向盤中央有兩個旋轉關節為撞擊後方向盤上、下緣產生變形的運動方式；轉向機柱與方向盤以萬向關節連接，轉向系統亦可利用平移關節模擬侵入量，剛體模型的變形除了輸入位移量，也可透過各運動關節的剛性來決定變形的程度。而正撞台車衝擊試驗的轉向系統並無明顯的侵入，因此，在數值模型上不考慮侵入量，故將平移關節鎖止。

### (四) 人偶模型

MADYMO 中內建的人偶資料庫非常豐富，各百分比的剛體模型與有限元模型都相當的完整，在資料庫中運用 INCLUDE 指令編輯並挑選適合的人偶模型，本研究採用男性 Hybrid III 50% 的多剛體模型作為試驗的人偶 (如圖 6 所示)，依據實驗中人偶位置量測值進行定位調整。為了避免人偶與座椅間的穿透力而影響髖部加速度，以及無法量測人偶各關節的自由度，導致頭部初始加速度、頸部初始力及扭矩與實際有誤差，因此，碰撞前會將人偶作靜力平衡的模

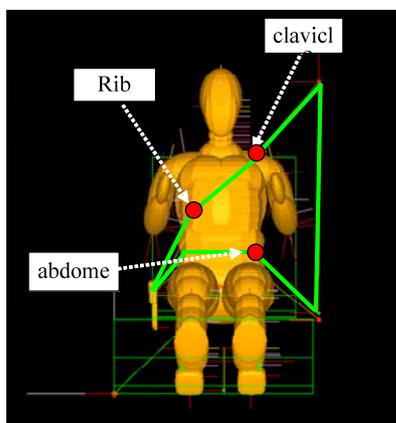


圖 5. 多體安全帶模型示意圖

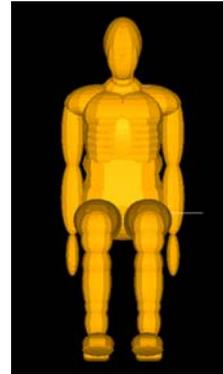


圖 6. Hybrid III 50% 多體人偶模型

擬，在重力場的作用下盡量使人偶貼近座椅並避免初始穿透，使用初始 JOINT\_POS 與 SUCCESSIVE\_ROT 指令來改變人偶的位置，人偶模擬後的靜平衡狀態即為台車初始的定位。

## 四、台車衝擊試驗數值模擬

### (一) 台車試驗模擬條件

為證實以 MADYMO 電腦數值分析軟體進行台車衝擊試驗模擬分析程序與相關設定的正確性，首先建構正撞台車衝擊試驗的數值模型，以 56 km/hr 的減加速度衝擊曲線，如圖 7 所示，及重力場  $9.81 \text{ m/s}^2$  下進行台車衝擊模擬測試，模擬時間 150 ms；並藉由台車衝擊試驗的實驗與模擬結果進行比較，以確認數值模型與分析軟體的適用性及正確性。

### (二) 台車試驗數值模型

正撞台車衝擊試驗的數值模型包括：車身、人偶、安全帶、轉向機柱 (包含氣囊) 等數值模型作接觸設定，如圖 8。數值模型類型分為多體 (MB) 與有限元素 (FE) 兩種，接觸的方式分為彈性接觸模型 (elastic contact model) 與運動

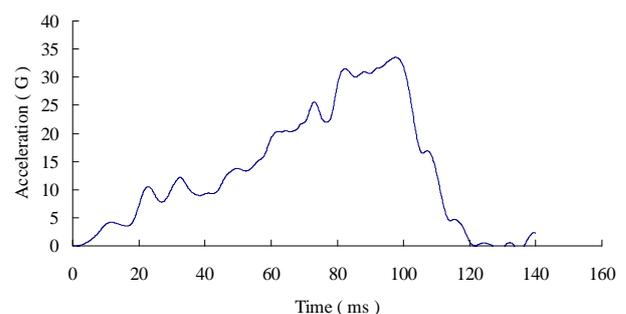


圖 7. 正撞台車衝擊曲線

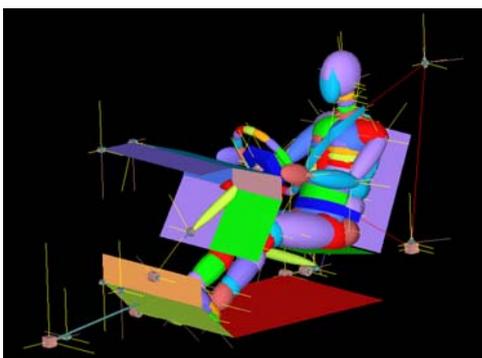


圖 8. 正撞台車數值模型

學接觸模型 (kinematic contact model)，彈性接觸可應用於所有可能發生的接觸；運動學接觸則只能使用與有限元模型接觸的非彈性碰撞。彈性接觸力可允許模型間的穿透由彈力、阻尼力、摩擦力所組成，由各個接觸面的加載、卸載、遲滯斜率來定義力-穿透特性的彈力，並加入阻尼係數及摩擦係數描述彈性接觸；非彈性接觸力則不允許穿透發生，只計算節點與接觸面間的力，接觸力由節點與接觸面的相對速度來計算，同時施加庫倫摩擦力切線方向的衝擊力，以及計算多體重心的線性衝擊力和角衝擊力。

台車數值模型的摩擦係數與材質、重量等因素有關，其中以人偶與座椅及安全帶的摩擦力影響最大，由於無法掌握摩擦力真實的物理量，故本研究根據 Rashidy [8] 所探討摩擦係數的研究，設定 0.5 作為人偶與座椅的摩擦係數；而一般安全帶的摩擦係數為 0.3~0.35。由於衝擊曲線的影響下，安全帶和正撞氣囊的點火時間設定為 35 ms 引爆；安全帶的織帶拉伸率為 15%，捲收器內部以及帶扣中的預緊器回捲曲線如圖 9-10 所示，限力器設定為 2.5 kN，即一旦達到這個力的等級時，限力器即開始釋放安全帶來減低胸部的壓縮量。

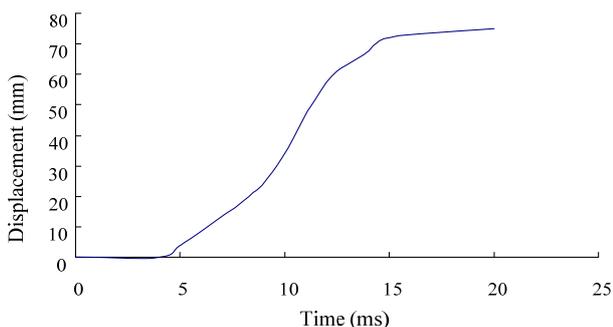


圖 9. 捲收器內預緊器的捲收量曲線

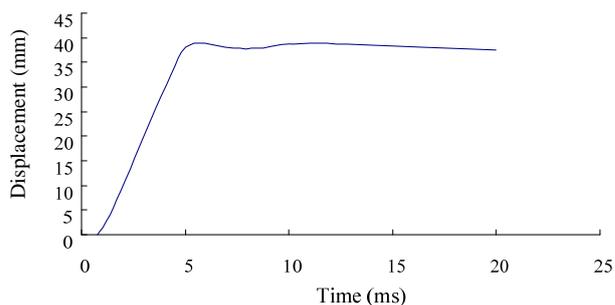


圖 10. 帶扣預緊器的捲收量曲線

### (三) 台車試驗分析結果

台車數值模型在 MADYMO 求解器 XMGIC 中建立數值模型，模擬結果 kn3 檔可在 MADPost 後處理以每 20 ms 的時間歷程觀察人偶動態反應的行為。台車衝擊試驗模擬與實驗之動態反應如圖 11 所示，由圖中可知，人偶從 0 ms 時的靜止狀態，藉由減加速度帶動台車、人偶、安全帶、轉向機柱（包含氣囊）向後運動，使人偶產生向前的慣性運動；在 35 ms 安全帶預緊器向下拉人偶向前位移，已開始受到明顯的安全帶拘束力，以及同時擊發充氣器開始膨脹展開，造成頭部、胸部加速度上升；在 50 ms 氣囊開始接觸人偶胸部，此時氣囊因撞擊開始有明顯的洩氣，並且造成胸部加速度急遽上升；在 70 ms 氣囊內壓（內壓最大值與人偶接觸）及體積達到最大值並開始接觸人偶頭部，造成頭部加速度急遽上升，且開始緩衝人偶向前的衝擊力；在 95 ms 人偶受到肩帶安全帶拘束力使其向前位移量及胸部加速度達到最大；在 105 ms 人偶頭部加速度達達到最大，在 125 ms 氣囊洩氣率減緩並維持穩定，此時人偶因安全帶及氣囊的反作用力開始向後位移，將人偶持續往後拉回。由台車衝擊試驗模擬中分別量測撞擊過程人偶頭部加速度、胸部加速度及胸部壓縮量、氣囊內壓、氣囊內氣體質量及氣囊體積，如圖 12-14 所示。如圖 12 顯示撞擊過程中頭部加速度於第 105 ms 達到峰值 41.2 G，且頭部損傷 HIC 值為 265，未超過歐規頭部損傷標準值 1,000，顯示氣囊有效保護人偶頭部。圖 13 及 14 顯示撞擊過程中胸部加速度於第 95 ms 達到峰值為 36.9 G，且壓縮量於第 105 ms 達峰值 45.4 mm，未超過歐規胸部損傷標準 60 G 以及壓縮量 50 mm，顯示氣囊可有效保護人偶胸部。為驗證台車衝擊測試模型及損傷分析的正確性，本論文由業者委託國外車輛測試單位執行台車衝擊實驗，表 2 為實驗與模擬結果的加速度峰值與人偶頭部、胸部損傷值。

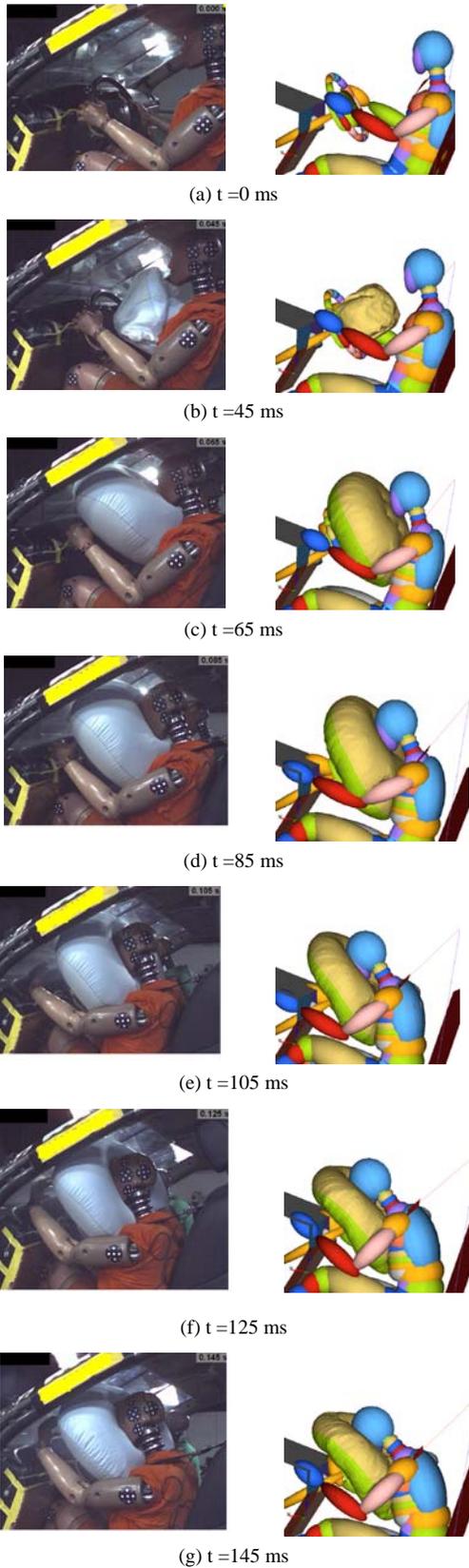


圖 11. 台車衝擊試驗模擬人偶動態反應圖

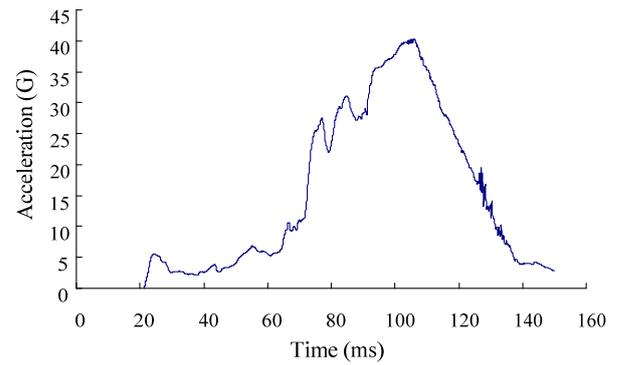


圖 12. 頭部加速度曲線

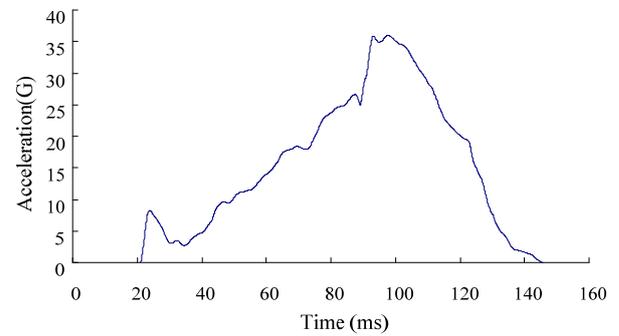


圖 13. 胸部加速度曲線

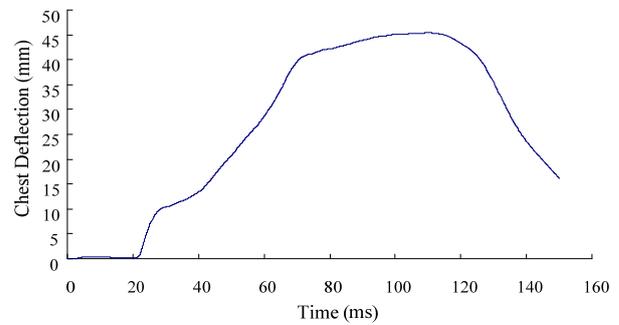


圖 14. 胸部壓縮量

表 2 中可看出模擬值較實驗值為高，主要原因是實驗測試過程中氣囊展開並在 46.1 ms 與人偶胸部接觸；而模擬因以均壓方式設定展開氣囊數值模型，在 66.4 ms 氣囊才與人偶胸部接觸，因此造成胸部黏性傷害的差異；在 85~125 ms 區間內模擬人偶頭部對氣囊傾入較實驗來的大，造成加速度峰值與 HIC36 以及胸部加速度峰值與壓縮量的誤差，造成上述誤差的原因可能是氣囊數值模型洩氣率與實際的差異；而人偶因慣性與重力作用下的衝擊力會使座椅產生變形，在模擬時座椅剛性結構與構材料性質，無法真實描述人偶

表 2. 正撞台車衝擊試驗結果比較表

台車試驗 量測項目	實驗值	模擬值
頭部加速度峰值	35.96 G (112ms)	41.2 G (105ms)
頭部損傷 HIC36	202 (88~124ms)	265 (81~117ms)
胸部加速度峰值	40.85 G (110ms)	36.9 G (95ms)
胸部位移量峰值	32.9 mm (107ms)	45.4 mm (105ms)
胸部黏性傷害	0.19 m/s (46.1ms)	0.269 m/s (66.4ms)

與座椅的作用力；以及安全帶裝置中預緊器模型中捲收量與時間函數無法真實考慮實際受力情況所影響。

## 五、結論

本研究以 MADYMO 工程分析軟體建構一有限元素正撞氣囊模型，並進行台車衝擊試驗之模擬與相關探討。依據本研究之正撞衝擊台車模擬結果顯示，此款氣囊模型及安全帶的搭配防護下，可有效降低人體撞擊的損傷，並符合人體損傷法規範圍之內。雖然模擬分析結果較實驗值為高，未來在 MADYMO 軟體可採計算流體動力學模型來模擬氣囊充氣過程，以符合模擬實際充氣器對氣囊充氣後的過程與狀態，而且更為重要的是能夠比較準確地模擬充氣過程中與乘員的接觸反應與現象。此正撞衝擊台車數值模型除可計算人偶損傷外，尚可分析氣囊於實際碰撞情況下氣囊與人體接觸時間與行為，此分析對一氣囊模組在充氣器及 ECU (Electronic Control Unit) 引爆準則的設計上極為重要。故本研究除可建立國內車輛碰撞數值模擬分析能量，並可藉由氣囊模型的設計與衝擊台車數值模型的建構來提供車廠及相關研究單位進行正撞氣囊改良研發之參考，以使人體頭部及胸部車輛正面碰撞時之傷害程度降至最低。

## 參考文獻

1. 楊書銘(民 93)，正撞衝擊測試數值模型之建立與分析，大葉大學機械工程研究所碩士論文。
2. 蔡智雄(民 95)，正撞氣囊數值模型之建立與分析，大葉大學機械工程研究所碩士論文。
3. 鄭嘉華(民 89)，應用電腦分析的模型與類神經網路設計乘客座低衝力氣囊的質流率，中正大學機械工程研究所碩士論文。
4. 藍海濤(民 96)，基於 MADYMO 軟件的氣囊起爆過程模擬，2007 MADYMO 大中華地區用戶大會，上海，中國。
5. Deng, Y. C. (1991) Simulation of belt-restrained occupant response in 30 mph barrier impact. *International Journal of Vehicle Design*, 12(2), 160-174.
6. Lin, T. C., C. Wawa and T. B. Khalil (1995) Evaluation of the hybrid III dummy interactions with air bag in frontal crash by finite element simulation. SAE Paper No. 952705.
7. Marzougui, D., C. D. Kan and N. E. Bedwi (1996) Development and validation of an NCAP simulation using LS-DYNA3D. Proceedings of Fourth International LS-DYNA3D Conference, Minneapolis, Minnesota.
8. Rashidy, M., B. Deshpande, T. J. Gunasekar and R. Morris (2001) Analytical evaluation of an advanced integrated safety seat design in frontal, rear, side, and rollover crashes. 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, Netherlands.
9. Xu, L. (2000) Repeatability evaluation of the pre-prototype NHTSA advanced dummy compared to the Hybrid III. SAE Paper No. 2000-01-0165.

收件：99.10.29 修正：99.11.29 接受：100.01.17