

聯結車於斜坡倒車現象案例之研究

蔡中志¹
林翊歆²

摘要

全(半)聯結車因車身重噸位大，當發生交通事故時常會引起重大之傷亡，而駕駛則須擔負刑事責任。其肇事行為究係故意抑或過失導致，端賴肇事鑑定結果而定，對刑責之影響甚大。惟鑑定結果是否就為事故之真相，實繫於鑑定過程之合理、精確，方能使人信服。臺灣高等法院 97 年度重上更(四)字第 208 號裁判書中(裁判日期：99 年 12 月 7 日)，其肇事鑑定指出該半聯結車於斜坡之倒車現象乃屬換檔時之正常現象，非人為之故意行為，然卻未詳細驗證，本研究對其正確性遂存有疑義。故特就該車輛之倒車現象究係屬換檔之正常現象，抑或屬人為之故意行為，以物理之力學分析方法進行研究，將坡度、摩擦係數、摩擦阻力、重力等因素納入分析，得到於斜坡上該車輛換檔時空檔自然下滑 2.5 公尺，至少須時 4.5539 秒。以一般人平均反應時間 0.75 秒，以及車輛的安全設計考量，正常行進停車，除非操作錯誤，不可能會再倒退 2.5 公尺，據以推論該半聯結車之倒車現象屬換檔時之正常現象的可能性極低。

關鍵詞：斜坡倒車、摩擦阻力、摩擦係數、下滑力。

一、案例事實

半聯結車駕駛胡○○於民國 88 年於交岔路口(該路口為坡度 2 度之斜坡)右轉時，與右側機車騎士簡○○發生碰撞，致簡○○連人帶車卡入聯結車右後車輪下，造成簡○○左下肢嚴重受傷；而半聯結車又因不明原因倒車下滑 2.5 公尺，造成簡○○有重大傷害之情形，檢察官認為胡○○涉有刑法第 271 條第 2 項、第 1 項之殺人未遂罪嫌依法起訴(胡○○另涉業務過失傷害部分已判決確定)。

基隆地方法院第一審判決胡○○被訴殺人未遂部分無罪，檢察官不服基隆地方法院第一審判決，提起上訴，經臺灣高等法院判決後，又經最高法院第四次發回更審，最後臺灣高等法院判決胡○○被訴殺人未遂部分無罪，並依刑事妥速審判法第 8 條(見判決書附錄)規定，不得上訴。依刑事妥速審判法規定，胡○○殺人未遂一案已不得再上訴，故簡○○在求助無門之下轉而向監察院陳訴，表示鑑定人逢甲大學已坦承鑑定地點錯誤且鑑定結果有所誤差，詎臺灣高等法院未將上開錯誤列入裁判書中，並詳審渠陳述意見，草率判決胡○○無罪，損害其權益等等。

¹ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所教授(聯絡地址：桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號，電話：03-3282321#4516，E-mail：una103@mail.cpu.edu.tw)。

² 中央警察大學交通管理研究所碩士班研究生。

監察院受理簡○○陳訴後行文司法院轉臺灣高等法院，指出該判決似認胡○○於車禍後確有倒車現象，惟綜合各項事證似難認有故意倒退輾壓簡○○之情事。惟就採認逢甲大學鑑定意見部分，該鑑定係以換檔過程中會有短暫空檔狀態，加上處於上坡路段，用以解釋會有倒車現象。然車禍時簡○○及機車均卡在被告輪胎下，該鑑定有無計算摩擦力等因素，是否會將空檔倒車之作用力抵銷？原審是否未予詳查，草率採為判決依據，有無率斷？希冀臺灣高等法院就簡○○之陳訴意旨詳予查明見復。

監察院強調鑑定之重點在摩擦力之考量計算，而逢甲大學之鑑定卻未考量摩擦力因素，僅說明半聯結車之所以倒車下滑 2.5 公尺，在於肇事地點路段為一上坡(坡度 2 度)，由於該半聯結車屬於手動排檔車輛，當停車換檔過程中在坡度 2 度之下，其倒車現象乃屬換檔時之正常現象，非人為之故意行為，亦未說明該下滑 2.5 公尺是否合於常理，故本研究對其正確性始終存有疑義。特就該車輛之倒車現象究係屬換檔之正常現象，抑或屬人為之故意行為，以物理之力學分析方法進行研究，將坡度、摩擦係數、摩擦阻力等因素一併納入分析。

附法院裁判書如下：

臺灣高等法院 97 年度重上更(四)字第 208 號判決

上訴人 臺灣基隆地方法院檢察署檢察官

上訴人

即被告 胡○○

選任辯護人 周宜隆律師

上列上訴人因被告殺人未遂案件，不服臺灣基隆地方法院 89 年度訴字第 528 號，中華民國 89 年 12 月 22 日第一審判決(起訴案號：臺灣基隆地方法院檢察署 89 年度偵字第 653 號)，提起上訴，本院判決後，經最高法院第四次發回更審，本院判決如下：

主 文

原判決關於殺人未遂暨定執行刑部分均撤銷。

胡○○被訴殺人未遂部分無罪。

理 由

(一)公訴人公訴意旨略以：被告胡○○係順鑫貨運公司所僱用之司機，平日以駕駛該公司之營業半聯結車為業，係從事駕駛業務之人。胡○○於民國 88 年 12 月 4 日上午 7 時 40 分許，駕駛車號 KN-872 號營業半聯結車，滿載工業用土，沿基隆市基金一路，自基隆市往台北縣萬里鄉方向行駛，同日 7 時 45 分左右，胡○○駛至基金一路與基金二路一巷之行車管制號誌交岔路口，在綠燈起步右彎時，本應注意汽車行駛時，駕駛人應注意兩車併行之間隔，並隨時採取必要之安全措施，汽車在雙向二車道行駛時，應在遵行車道內行駛，且依當時情形，亦無不能注意情事，竟疏於注意斯時停在渠車右側機車道上，騎乘車號 QZS-617 號機車等待左轉之簡○○，而貿然起步右彎，因未保持兩車併行之間隔，且駛出快慢車道分道線，致渠車之車頭右前輪、右側水箱擦碰簡○○之機車，簡○○受力倒地，遭胡○○之半聯結車右後車輪壓及左下肢，使簡○○之左下肢受到嚴重傷害；胡○○見狀不僅未停車，

竟萌生殺意，將車往後倒退，欲壓死簡○○，致簡○○之左下肢及所騎乘之機車再遭半聯結車之車輪拖行，因事出突然，簡○○連遭兩次輾壓，驚懼下奮力自車斗下方爬出，始倖免於難，然簡○○仍因此受有左下肢脫手套性撕脫傷，皮膚缺損約百分之五體表面積，左側腓骨骨折，左第三、四蹠骨骨折，踝關節開放性骨折併脫位，左腳伸肌斷裂，左膝後側韌帶複合體傷害，雖經多次手術，仍造成左膝不穩定，左下肢痠縮，左足踝功能嚴重喪失，左二、三、四、五趾無伸屈之功能，合併有左足踝關節病變等毀敗一肢機能之重大傷害等情，因認被告涉有刑法第 271 條第 2 項、第 1 項之殺人未遂罪嫌(被告胡○○另涉業務過失傷害部分，由本院 93 年度再字第 2 號判決有期徒刑 5 月，如易科罰金以 300 元折算 1 日確定)。

- (二)按犯罪事實應依證據認定之，無證據不得認定其犯罪事實；又不能證明被告犯罪者，應諭知無罪之判決，刑事訴訟法第 154 條第 2 項、第 301 條第 1 項分別定有明文。次按事實之認定，應憑證據，如未能發現相當證據，或證據不足以證明，自不能以推測或擬制之方法，以為裁判基礎；又認定不利於被告之事實，須依積極證據，苟積極證據不足為不利於被告事實之認定時，即應為有利於被告之認定，更不必有何有利之證據(最高法院 40 年臺上字第 86 號及 30 年上字第 816 號判例參照)。再按刑事訴訟上證明之資料，無論其為直接或間接證據，均須達到通常一般之人均不致有所懷疑，而得確信其為真實之程度，始得據為有罪之認定，若關於被告是否犯罪之證明未能達此程度，而有合理懷疑之存在，致使無從形成有罪之確信，根據「罪證有疑，利於被告」之證據法則，即不得遽為不利被告之認定亦有最高法院 29 年上字第 3105 號、76 年台上字第 4986 號判例足資參照。
- (三)公訴人認被告胡○○於車禍後有倒車碾壓告訴人簡○○，涉犯殺人未遂犯行，係以告訴人簡○○之指訴，及依現場相片可見，現場所留簡○○之血在半聯結車右側車斗中央下方，機車刮地痕卻自該處往後方延伸，機車更壓在車斗右後輪下，明顯可見被告在右前輪擦碰簡○○倒地後，右後輪先壓及簡○○及機車，被告有倒車再輾壓過簡○○，並拖帶機車往後之情事等現場跡證，及台灣省基宜區車輛行車事故鑑定委員會、台灣省車輛行車事故覆議鑑定委員會之鑑定及覆議意見，為其主要之論據。
- (四)訊據上訴人即被告胡○○堅決否認有何殺人未遂犯行，辯稱：發生車禍後，伊踩煞車，並下車查看被害人傷勢，該車輛煞車之程序是踩離合器、踩煞車、打空檔，再拉手煞車後，車子才能停住，伊下車之前有做這些動作，那樣才能把車停住，當時是上班時間，且是重要路口，伊不可能故意倒車等語。
- (五)查依警方在車禍發生後拍攝之現場照片所示(見 89 年度偵字第 653 號第 13 頁上方照片)，被告所駕半聯結車後方之半拖車(半聯結車係由一輛曳引車與一輛重型半拖車所組成)中央下方處遺留有告訴人之血跡，機車倒於半拖車右前輪前端，前開血跡距離機車倒地之位置，留有長約二點五公尺之刮地痕，亦即該刮地痕位於血跡與機車中間，且在機車前方，故台灣省基宜區車輛行車事故鑑定委員會 89 年 4 月 21

日基宜鑑字第 890213 號函附之鑑定意見(偵查卷第 28 至 30 頁)及台灣省車輛行車事故覆議鑑定委員會 89 年 6 月 30 日府覆議字第 890765 號函附之覆議意見(偵查卷第 48 頁),均憑此現場遺留痕跡,認定被告所駕車輛於肇事後確有倒車情形。茲應審酌者,乃被告所駕車輛倒車之原因為何?是否如告訴人所述,被告有殺人犯意而故意倒車,或係其他原因造成被告所駕車輛於發生車禍後,煞停前,非因被告之故意而倒車。經查:

1. 依上開台灣省基宜區車輛行車事故鑑定委員會之鑑定意見雖認被告所駕車輛有倒車情形,但亦認無法得知其倒車之意圖;而上開台灣省車輛行車事故覆議鑑定委員會函覆之鑑定意見亦未載明被告所駕車輛倒車之原因。是依上開鑑定機關之鑑定意見,尚無法得知被告所駕車輛於發生車禍後,復有倒車現象之原因為何。
2. 經本院更(一)審就告訴人所受傷勢是否遭重複碾壓或一次碾壓所造成向財團法人長庚紀念醫院基隆分院查詢結果,據該院 93 年 1 月 27 日(93)長庚院基字第 0131 號函覆稱:「無法由傷勢情形判斷是否遭受聯結車重複或一次碾壓所造成。」(見本院更(一)審卷第 56 頁)。
3. 本院更(一)審再函請法務部法醫研究所鑑定被害人所受之傷勢,是否可能遭受聯結車重覆輾壓所造成?抑或由一次輾壓造成?該所以 93 年 4 月 30 日法醫理字第 0930000449 號函覆稱:「(一)....(二)由車禍現場照片顯示聯結車右側前後輪前地上有血跡並有摩托車帶著血漬向後方向之著地帶地痕,在前後輪之平行外側有另一攤血液等支持簡員於摩托車之前輪碰觸聯結車右前輪,致摩托車之車頭向左側垂直傾倒於聯結車之前後輪間,並致簡女之左小腿遭聯結車之右後輪碾壓致左腓骨骨折,瞬間聯結車停止(故未碾壓造成脛骨之骨折),已造成環狀撕除傷並造成開放脫手套性(脫皮膚性)撕除傷。疑此時聯結車司機煞車後似善意欲開離車輪之碾壓,致在帶動後退時再度帶動平躺卡住的摩托車後移,恰致在移動外移之簡女左腿踝夾在輪胎及摩托車之間致再度遭摩托車身之擠壓(非聯結車之後輪擠壓), (三)以上研判簡女之脫手套撕裂傷為遭單次碾壓,而在聯結車意外倒車時因拖拉機車造成二次擠壓致腳踝蹠骨骨折之結果,似無重複輪胎碾壓之可能。」(見本院更(一)審卷第 65、66 頁)。是上開法醫研究所之鑑定意見雖認被告所駕車輛於發生車禍後,有倒車之情形,但亦認係「善意」或「意外」造成,並非被告欲故意倒車再次輾壓被害人。
4. 卷附國立交通大學 93 年 8 月 24 日函暨行車事故鑑定意見書,及鑑定人吳宗修於本院作證時,認被告所駕半聯結車於發生車禍後應無倒車情形,與上開台灣省基宜區車輛行車事故鑑定委員會、台灣省車輛行車事故覆議鑑定委員會及法務部法醫研究所之鑑定意見不符,然依此更無法證明被告有故意倒車輾壓告訴人情事。
5. 經本院函請逢甲大學鑑定本案車禍發生後,被告胡○○所駕駛之車號 KN-872 號營業半聯結車有無倒車情形,及造成其倒車之可能原因,該校車輛行車事故鑑定研究中心鑑定結果為:

- (1) 依據警繪事故現場圖及本中心重繪事故現場圖所示，胡車之曳引車頭右前輪距離路邊 4.8 公尺，右後輪距離路邊 4.5 公尺；拖車雙軸右前輪距離路邊 3.6 公尺，拖車雙軸右後輪距離路邊 3.9 公尺。簡車右倒在拖車雙軸右前輪之前，機車前輪距離路邊 3.9 公尺，後輪距離路邊 3.0 公尺。距離曳引車右後輪後方 1.5 公尺處有一血跡及一長度 2.5 公尺之刮地痕跡，該刮地痕附近散落塵土，根據法務部法醫研究所鑑定報告，該散落塵土應為簡車前車輪或底盤擋泥護板等掉落，再沾合擠輾壓時之血跡向後移動所致。
- (2) 本中心實地到現場，量測該事故地點路面之坡度，儀器量測結果，該事故地點坡度為 2° ，換算百分比表示為 3% 之上坡 ($\tan 2^\circ \doteq 0.03 = 3\%$)，即表示水平距離移動 100 公尺，垂直上升 3 公尺之坡度。
- (3) 故車之曳引車頭右前輪胎上有一圈擦痕，研判簡女左腿與曳引車頭右前輪側向擠壓，與右前輪胎產生一圈擦痕；車頭右後輪胎有一團狀擦痕，車頭右後輪前方地面有一條刮地痕，其右側油箱上亦有若干擦痕。而簡車車損情形為左踏板破損、前輪鋼圈變形、前避震器斷列扭曲。
- (4) 一般機車把手高度介於 90~100 公分之間，而曳引車車輪高度(直徑)約在 100 公分左右，其車頭軸距為 3.5 公尺。由於聯結車輪直徑為 100 公分，圓周長為 100π cm，大約為 314.16cm(3.1 公尺)，對照前後輪碰撞痕跡顯示，研判前輪為第一碰撞點時，至碰撞後輪時，前後輪約轉動 1 圈(3.1 公尺)，與前後軸距相當，故符合前輪為第一碰撞點。
- (5) 綜合以上幾點研判，故車其行向仍在其車道上，並未侵入慢車道，故本中心研判簡車有變換行向向左之行為。簡車先與胡車之車頭右前輪擦撞，再擦撞到油箱倒地，簡車前輪再與曳引車頭右後輪擦撞，故後輪胎留下一團狀擦痕。簡車倒地後，胡車繼續前進，其拖車雙軸右前輪碾壓簡車，之後胡車車輛向後退拖拉機車產生 2.5 公尺之刮地痕，因肇事地點路段為一上坡(3%之坡度)，研判胡車發覺碰撞簡車後，由於胡車屬於手動排檔車輛，當停車換檔過程中在坡度 3% 之下，會產生往後倒車之現象，此即說明簡女認為胡車有往後倒車之現象。此外從簡女左腿傷勢及輪胎擦痕研判其左腿與曳引車頭右前輪側向擠壓受傷，並非車輪碾壓受傷，故胡某蓄意倒車之可能性不高等語，此有該校 99 年 8 月 9 日逢建字第 0990051167 號函覆之鑑定意見書可憑(見本院卷第 63 至 75 頁)，並經鑑定人廖遠橋到庭結證稱：本中心依據現有證據，嘗試分析解釋每一碰撞痕跡，研判兩車第一碰撞位置在曳引車右前輪之擦痕，為與簡女接觸位置，而後續車頭右前輪右後油箱之刮痕為發生碰撞後，機車倒地時刮擦所產生，本中心就機車刮擦痕走向認定，曳引車有倒車事實，此部分與基宜區車鑑會見解一致。因事故地點為上坡路段，車輛在空擋狀態下，可能會有向後滑動的現象。事故地點坡度為百分之三，也就是說坡度水平前進

一百公尺，上升三公尺的意思，該車輛為手動排擋車輛，在換擋過程中，會短暫呈現空擋的狀態，因此研判在這種狀況下，車輛有向後滑動的可能等語(見本院卷第 127 頁正、反面)，是依上開逢甲大學之鑑定意見，雖亦認被告所駕車輛於車禍發生有倒車現象，然認或係該車輛處於上坡路段，因欲煞車須先排入空檔因素，致該車輛有短暫後退情事，與被告所辯該車輛欲停車前需先換檔為空檔再拉手煞車情節相符，故依該鑑定意見，亦無法認定被告有蓄意倒車情事。

(六)依告訴人於偵查中陳稱：被告先撞到伊，伊喊救命，拼命爬出來，事出突然，伊只記得被告輾過伊兩次等語(見偵查卷第 16 頁反面)，惟按告訴人之告訴，係以使被告受刑事訴追為目的，自不得作為認定犯罪事實之唯一證據，而須以補強證據證明其確實與事實相符，始得據為裁判之基礎(最高法院 52 年台上字第 1300 號判例意旨參照)。查被告所駕車輛於車禍發生後，雖有發生倒車現象，惟並無證據證明被告係蓄意倒車，有殺人犯意，已如上述。且：

1. 依卷附診斷證明書之記載可知，簡○○之小腿脛骨並無骨折，而骨折部位為左小腿後側之腓骨骨折、左第三、四跖骨骨折、踝關節開放性骨折併脫位。跖骨及關節均位於腳掌，而腓骨骨折位置依急診病歷診斷欄二可知為左腓骨頭(即診斷欄二所記載之 2L' t fiber head fr.)，腓骨頭位於腳踝部位即腳後跟位置，因此依簡○○之傷勢可知，簡○○遭輾壓之位置應僅限於腳掌及腳踝位置，且依其骨折之部位可知，其左腳掌及腳踝應係遭被告所駕駛車輛之車輪邊緣碾過所生之傷害。
2. 被告所駕半聯結車除車頭外，每組輪胎皆兩兩併行，其車體重量甚重，且輪胎寬度甚廣。果如簡○○所言，其係被捲入車底後再遭碾壓兩次，則小腿主要之脛骨、膝蓋、甚至大腿部分位置均在車輪碾壓之範圍內，此等部位均將無法承受重車之碾壓而有骨折或粉碎之現象，當不可能僅有腳掌及腳後跟部位骨折，而其餘部位則無出現骨折之現象，可見簡○○所述顯與常情不符。
3. 依上開卷附現場圖及照片所示，被告所駕營業半聯結車與告訴人所騎機車發生擦撞致告訴人人車倒地後，該車輛雖有向後退拖拉機車產生 2.5 公尺之刮地痕，惟依該刮地痕之走向係呈直線走向所示，該車輛並無刻意改變行進、後退之方向，而有故意後退輾壓告訴人情事，是尚難單憑告訴人指訴，即認被告主觀上有殺人犯意無訛。

(七)綜上所述，本件檢察官所舉證據均無法使本院對於被告涉嫌告訴人所指殺人未遂之事實形成確信不疑之心證，本院亦查無其他證據足證被告涉犯殺人未遂罪嫌，依法自應為被告無罪決之諭知。

(八)原審誤為被告論罪科刑之判決，自有未洽。檢察官雖以被告肇事後，造成告訴人身心劇創，不僅未賠償告訴人，更惡性脫產，致告訴人求償無門，認原審量刑過輕而提起上訴，惟被告於本件車禍後業與告訴人達成民事和解，賠償其 275 萬元並給付完畢在案，此為告訴人簡○○所自承在案，況被告就殺人未遂部分應為無罪之諭知，其上訴即

無理由；另被告以否認犯罪而提起上訴，為有理由，自應由本院將原判決關於殺人未遂及定執行刑部分撤銷，就被告被訴殺人未遂部分，諭知被告無罪之判決。

(九)檢察官雖聲請至車禍發生現場模擬車禍發生之原因云云，然依被告所述，案發後被告已未再駕駛該肇事車輛營業，且本件事發已逾 11 年，與被告所駕營業用半聯結車同型之車輛已無法覓得，檢察官亦未能提供得至現場模擬之車輛，其所請即難准許，附此敘明。

據上論斷，應依刑事訴訟法第 369 條第 1 項前段、第 364 條、第 301 條第 1 項，判決如主文。

本案經檢察官呂光華到庭執行職務。

中 華 民 國 99 年 12 月 7 日

刑事第二十一庭審判長法官 蔡聰明
法官 楊力進
法官 許永煌

以上正本證明與原本無異。

不得上訴(依刑事妥速審判法第 8 條規定)。

書記官 林吟玲

中 華 民 國 99 年 12 月 7 日

附錄：刑事妥速審判法第 8 條：案件自第一審繫屬日起已逾六年且經最高法院第三次以上發回後，第二審法院更審維持第一審所為無罪判決，或其所為無罪之更審判決，如於更審前曾經同審級法院為二次以上無罪判決者，不得上訴於最高法院。

二、疑義爭點

該半聯結車之倒車現象究係屬換檔之正常現象，或屬人為之故意行為？

三、原鑑定意見

監察院強調鑑定之重點在摩擦力之考量計算，而逢甲大學之鑑定卻未考量摩擦力因素，僅說明聯結車之所以倒車下滑 2.5 公尺，在於肇事地點路段為一上坡，由於聯結車屬於手動排檔車輛，當停車換檔過程中在坡度 2 度之下，其倒車現象乃屬換檔時之正常現象，非人為之故意行為，亦未說明該下滑 2.5 公尺是否合於常理。

四、物理力學分析

據鑑定人逢甲大學鑑定意見，半聯結車因處於上坡路段，故在換檔過程中空檔倒車下滑 2.5 公尺，屬正常現象。本研究以力學分析的方法將摩擦力因素納入考量，希望計算出究竟空檔下滑 2.5 公尺需要多少時間？再將所得之時間與一般人平均反應時間 0.75 秒作比較，當可知是否合於常理。

4.1 物理原理

已知

1. 下滑距離(x)為 2.5 公尺
2. 半聯結車的車重(m1)有 35 公噸、30 公噸、21 公噸三種規格
3. 坡度(θ)為 2° ($\sin 2^\circ = 0.0349$; $\cos 2^\circ = 0.9993$)
4. 機車車體滑動摩擦係數(μ_k)為 0.3~0.5 (許哲嘉等, 2008)
5. 聯結車車輪滾動摩擦係數(μ_r)為 0.01 (王文麟, 2005)

另外吾人假設

1. 機車重量(m_2)為 120 公斤
2. 重力加速度(g)為 9.8 m/s² (m 為公尺; s 為秒)
3. 由於當時機車卡在半聯結車車輪下, 故假設機車承受半聯結車重量之比例為 p

若半聯結車會下滑, 則沿斜坡向下的力必須大於沿斜坡向上的力, 意即重力的分力必須大於摩擦阻力, 此表示: 聯結車與機車沿斜面下滑之下滑力 > p 倍的聯結車重量與機車重量所受之滑動摩擦力 + (1-p) 倍的半聯結車重量所受之滾動摩擦力。

因而

➤ 聯結車與機車沿斜面下滑之下滑力

$$= (m_1 + m_2) \times g \times \sin \theta \quad (1)$$

➤ p 倍的聯結車重量與機車重量所受之滑動摩擦力

$$= (m_1 p + m_2) \times g \times \cos \theta \times \mu_k \quad (2)$$

➤ (1-p) 倍的半聯結車重量所受之滾動摩擦力

$$= m_1 (1-p) \times g \times \cos \theta \times \mu_r \quad (3)$$

而(1) > (2) + (3) 即表示

$$(m_1 + m_2) \times g \times \sin \theta > (m_1 p + m_2) \times g \times \cos \theta \times \mu_k + m_1 (1-p) \times g \times \cos \theta \times \mu_r$$

故合力應為沿斜坡向下, 此即

$$\text{合力 } F = (m_1 + m_2) \times g \times \sin \theta - (m_1 p + m_2) \times g \times \cos \theta \times \mu_k - m_1 (1-p) \times g \times \cos \theta \times \mu_r$$

其中合力 F 的單位為牛頓(Nt)。再依牛頓第二運動定律 $F = (m_1 + m_2) \times a$, 可求得半聯結車與機車整體沿斜坡下滑之加速度 a (m/s²)。然後將 a 帶入直線運動公式 $x = 1/2 \times a \times t^2$ (x 為下滑距離公尺), 可計算出下滑時間 t, 此即為下滑 2.5 公尺所需之秒數, 亦為空檔之時間。最後再將空檔時間 t 與一般人平均反應時間 0.75 秒作比較, 當可知是否合於常理。

4.2 範例計算

已知

1. 下滑距離(x)為 2.5 公尺
2. 半聯結車的車重(m1)以 35 公噸為例計算，即 35000 公斤
3. 坡度(θ)為 2° ($\sin 2^\circ = 0.0349$; $\cos 2^\circ = 0.9993$)
4. 機車車體滑動摩擦係數(μ_k)以 0.4 為例計算
5. 聯結車車輪滾動摩擦係數(μ_r)為 0.01

另外吾人假設

1. 機車重量(m2)為 120 公斤
2. 重力加速度(g)為 9.8 m/s^2 (m 為公尺 ; s 為秒)
3. 由於當時機車卡在半聯結車車輪下，故假設機車承受半聯結車重量之比例為 p

(1) $p=0$

$$\begin{aligned} \text{合力 } F &= [(m_1 + m_2) \times g \times \sin \theta] - [(m_1 p + m_2) \times g \times \cos \theta \times \mu_k] \\ &\quad - [m_1(1 - p) \times g \times \cos \theta \times \mu_r] \\ &= [(35000 + 120) \times 9.8 \times 0.0349] \\ &\quad - [(35000 \times 0 + 120) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.4] \\ &\quad - [35000(1 - 0) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.01] \\ &= 8114.07 \text{ (牛頓)} \end{aligned}$$

依牛頓第二運動定律 $F = (m_1 + m_2) \times a$

$$8114.07 = (35000 + 120) \times a, \text{ 可求得 } a = 0.2310 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

又依公式 $x = 1/2 \times a \times t^2$, $2.5 = 1/2 \times 0.2310 \times t^2$,

可求得 $t = 4.6524$ 秒，此下滑時間 t 即為空檔之時間。

(2) $p=0.001$

$$\begin{aligned} \text{合力 } F &= [(m_1 + m_2) \times g \times \sin \theta] - [(m_1 p + m_2) \times g \times \cos \theta \times \mu_k] \\ &\quad - [m_1(1 - p) \times g \times \cos \theta \times \mu_r] \\ &= [(35000 + 120) \times 9.8 \times 0.0349] \\ &\quad - [(35000 \times 0.001 + 120) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.4] \\ &\quad - [35000(1 - 0.001) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.01] \\ &= 7980.40 \text{ (牛頓)} \end{aligned}$$

依牛頓第二運動定律 $F = (m_1 + m_2) \times a$

$$7980.40 = (35000 + 120) \times a, \text{ 可求得 } a = 0.2272 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

又依公式 $x = 1/2 \times a \times t^2$, $2.5 = 1/2 \times 0.2272 \times t^2$,

可求得 $t = 4.6912$ 秒, 此下滑時間 t 即為空檔之時間。

(3) $p = 0.01$

$$\begin{aligned} \text{合力 } F &= [(m_1 + m_2) \times g \times \sin\theta] - [(m_1 p + m_2) \times g \times \cos\theta \times \mu_k] \\ &\quad - [m_1(1 - p) \times g \times \cos\theta \times \mu_r] \\ &= [(35000 + 120) \times 9.8 \times 0.0349] \\ &\quad - [(35000 \times 0.01 + 120) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.4] \\ &\quad - [35000(1 - 0.01) \times 9.8 \times 0.9993 \times 0.01] \\ &= 6777.31 \text{ (牛頓)} \end{aligned}$$

依牛頓第二運動定律 $F = (m_1 + m_2) \times a$

$$6777.31 = (35000 + 120) \times a \text{ , 可求得 } a = 0.1930 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

又依公式 $x = 1/2 \times a \times t^2$, $2.5 = 1/2 \times 0.1930 \times t^2$,

可求得 $t = 5.0899$ 秒, 此下滑時間 t 即為空檔之時間。

上述範例僅在半聯結車重為 35 公噸、 μ_k 值為 0.4 之下示範計算, 除此之外, 半聯結車重尚有 30 公噸以及 21 公噸兩種規格, 而 μ_k 值亦為 0.3~0.5, 實際上要計算之組合甚多, 在此僅舉三例列出其計算式。至於全部的組合計算得出之下滑時間 t 值則列於表 1, 為在半聯結車重量分別為 35 公噸、30 公噸以及 21 公噸時, μ_k 值為 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 時, p 為 0、0.001、0.01 時, 所計算得到的下滑時間 t 值。如下表 1 所示。

由表 1 可知, 顯然機車承受半聯結車重量之比例 p 愈大, 則下滑時間 t 會愈大; 而機車車體滑動摩擦係數 μ_k 值愈大, 下滑時間 t 亦愈大。在半聯結車重為 35 公噸、 μ_k 值為 0.1、 p 為 0 時所計算出來之下滑時間為 4.5539 秒, 但實際上 μ_k 值比 0.1 大的 (μ_k 值約為 0.3~0.5, μ_k 值愈大下滑時間只會愈大, 本研究為求謹慎, 故 μ_k 值從 0.1 開始計算), 而且 p 也不可能為 0 (因為機車卡在聯結車車輪下, 本研究為求謹慎, 故 p 從 0 開始計算), 故下滑時間至少為 4.5539 秒, 此即空檔下滑之時間。

表 1 半聯結車重在三種不同規格下之下滑時間

半聯結車重在 35 公噸時之下滑時間 t					
t(秒)	$\mu_k=0.1$	$\mu_k=0.2$	$\mu_k=0.3$	$\mu_k=0.4$	$\mu_k=0.5$
p=0	4.5539	4.5864	4.6180	4.6524	4.6860
p=0.001	4.5624	4.6038	4.6474	4.6912	4.7351
p=0.01	4.6393	4.7760	4.9254	5.0889	5.2719
半聯結車重在 30 公噸時之下滑時間 t					
t(秒)	$\mu_k=0.1$	$\mu_k=0.2$	$\mu_k=0.3$	$\mu_k=0.4$	$\mu_k=0.5$
p=0	4.5596	4.5970	4.6354	4.6747	4.7140
p=0.001	4.5672	4.6146	4.6635	4.7140	4.7651
p=0.01	4.6444	4.7880	4.9447	5.1191	5.3120
半聯結車重在 21 公噸時之下滑時間 t					
t(秒)	$\mu_k=0.1$	$\mu_k=0.2$	$\mu_k=0.3$	$\mu_k=0.4$	$\mu_k=0.5$
p=0	4.5729	4.6274	4.6839	4.7415	4.8024
p=0.001	4.5815	4.6464	4.7130	4.7825	4.8564
p=0.01	4.6595	4.8224	5.0037	5.2072	5.4377

五、結論

經本研究以物理之力學分析方法進行研究，將坡度、摩擦係數、摩擦阻力、重力等因素納入分析之後，得到於斜坡上該半聯結車換檔時空檔自然下滑 2.5 公尺，至少須時 4.5539 秒。以一般人平均反應時間 0.75 秒，以及車輛的安全設計考量，正常行進停車，除非操作錯誤，不可能會再倒退 2.5 公尺，據以推論該半聯結車之倒車現象屬換檔時之正常現象的可能性極低。至於所引用之坡度、刮地痕、下滑距離等，其鑑定並非本研究所及。

參考文獻

- 王文麟(2005)，交通工程學-理論與實用，五版，台北：王文麟。
- 許哲嘉、翁榮宏、黃國平、吳宗霖、吳樹遠(2008)，「探討觸地式與非觸地式試驗對輕型機車刮地痕摩擦係數之影響」，九十七年道路交通安全與執法研討會論文集，頁 323-336。

