FMEA 與 HazOp 結合應用於車輛剎車系統

林德全　施元斌*

南亞技術學院

摘要

本研究的貢獻有二：(1)結合了分析硬體的 FMEA (Failure Modes and Effects Analysis，故障模式與影響分析)與分析製程的 HazOp (Hazard and Operability Studies，危害與操作性研究) 兩個方法各自具有之優點，完整找出包含硬體故障危害、參數偏離危害(例如： 溫度過高、流量過低…等危害)、人為操作危害以及外在環境危害，並兼具節省分析時間之優點；(2)以 HazOP 精神新發展針對車輛煞車系統的參數偏離。

此一 FMEA 與 HazOp 之修正表格及結合不同危害思考方向的分析方式，本研究以車輛煞車系統為實施例。分析結果包含：系統零組件老舊(失效)或磨耗損壞所造成的傷害、管路內流體異常所造成之危害，以及人為操作不當(駕駛)或維修保養不當(維修技師)的疏失危害。結果顯示：本文章之修正方式能完整分析硬體故障、參數異常以及人為疏失所造成的危害，並具節省分析時間之優點。

關鍵詞：故障模式與影響分析、危害與操作性研究、危害分析與風險評估、煞車系統

*Email： yuanpin@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#　Fax：03-4361524

THE COMBINED APPLICATION OF BOTH FMEA AND HAZOP FOR VEHICLE BRAKE SYSTEM

Ter-Chung Lin　Yuan-Pin Shih*

Nanya Institute of Technology

Abstract

The contributions of this study are two: (1) The Combined Application of both FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) and HazOp (Hazard and Operability Studies). The two methods each have the advantages of completely identifying including hardware failure hazard, parameter deviation hazard (e.g.: too high temperature, low flow, and so on)、human operation hazards and external environmental hazards, and save analysis time advantages; (2) And with the new development of HazOp spirit for the parameter deviation of the vehicle brake system.

This FMEA and HazOp's amended form and the analysis of different hazard thinking directions, this study takes the vehicle brake system as the embodiment. The results of the analysis include damage caused by old (failed) or wear damage to the system components, hazards caused by abnormal fluid in the lines, and negligence hazards caused by improper human operation (driving) or improper maintenance (service technician). The results show that the corrective method of this article can completely analyze the damage caused by hardware failure, abnormal parameter and human negligence, and has the advantage of saving analysis time.

Keywords：FMEA、HazOp、Hazard Analysis and Risk Assessment、Brake System

*Email：yuanpin@nanya.edu.tw　Tel：03-4361070#　Fax：03-4384670

壹、前言

危害分析方法發展已相當成熟，至 1980 年代，系統安全分析技術已經相當的完備，總計已發展應用的方法不下 50 種，若再包括一些特殊用途的技術，則約近 100 種方法(黃清賢， 1996)。在製造業之應用面上已經相當廣泛且成熟，勞委會於民國八十三年五月二日依據勞動檢查法第二十六條第二項規定訂定『危險性工作場所審查暨檢查辦法』（勞委會，2012），明訂五種安全評估方法為：檢核表（Checklist）、如果-結果分析(What If）、危害及可操作性分析（Hazard and Operability Studies, HazOp）、失誤樹分析（Fault Tree Analysis, FTA）故障型式及其影響分析（Failure Modes and Effects Analysis, FMEA）。勞委會於民國九十八年一月二十一日依據『勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法』第十二條之一規定訂定『風險評估技術指引』（勞動部，2015），內含風險評估之作業流程及基本原則…等。亦即包含危害分析方法(FMEA、FTA、What If、Checklist)不僅完備且已經明訂於主管機關之行政命令中，故今僅針對危害分析技術之起源簡述之。傳統上 FMEA 與 HazOp 的分析方式，請參考文獻：黃清賢， 1996；王世煌，2012；楊昌裔，2004；財團法人安全衛生技術中心，2010；游輝祥與施元斌，2008。上述前三個文獻為書籍，第四及第五個為證照班之訓練教材。

FMEA在汽車的應用請參考：(1)廖吳聖，2013，此研究以汽車零組件個案公司為例，將傳統製程失效模式與效應分析(PFMEA)及結合失效成本的製程失效模式與效應分析(PFMEA-Cost)，相互比較與評估，方法鎖定在製程失效模式與效應分析，主要目標在成本的考量；(2)謝國慶，2015，此研究主要針對國內汽車修護廠服務流程，運用失效模式與效應分析(FMEA)方法，找出其中八項潛在高風險服務流程項目，主要以人為操作為主；(3)張炳杰，2017，此研究透過失效模式與效應分析的實施，調查上叉鋁管29項風險失效模式對產品品質影響的程度，依其重要性排序，並一一擬定相對應的改善對策；(4)王新義，2019，此研究由FMEA有效分析出潛在失效模式與系統發生故障所造成的影響後果，並找出失效的根本原因。並透過與失效樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)的結合，進行煞車系統故障診斷，整理出15個潛在失效問題。

由於HazOp主要用於製程分析，在汽車之應用很少，僅找到汽車馬達電子系統之安全分析軟體之HazOp應用文章，請參考P. H. Jesty等人， 2000。此篇文章主要以FMEA及FTA (Fault Tree Analysis, 失誤樹)兩個分析方法為主，部分危害以HazOp觀點考慮控制器之電壓、電流及頻率為輸出參數。上述文章與本研究以煞車系統為

分析範圍截然不同。HazOp在石化製程之應用如黃國強，2003；葉忠益，2010；楊禮彬，2012及陳昆賢，2018，應用例太廣，此處不再贅述。亦即過去危害分析方法主要之使用對象為大型製造廠，尤其是石化廠與半導體廠，範圍往往是一個製程或設備，對於大眾運輸的汽車雖有危害分析，但主要針對硬體的失效，或有針對維修保養，但分析危害較不具全面。

FMEA 與 HazOp 傳統上並未有兩個方法結合為一張分析表格之應用情況。較多針對系統特性，找元件硬體失效用 FMEA，針對設備或系統有製程特性(容易看到溫度、壓力、流量、液位這四個製程參數)則以 HazOp 分析，將上述兩個分析結過加以結合。請參考張悅等人，2011，此篇文應用於氯乙烯製程，強調將 FMEA 和 HAZOP 相結合，其結合方式將設備與設備間之節點以 HazOp 分析，而設備內部則以 FMEA 分析，再將兩種分析表格之分析結果加以綜整，與本研究將兩個方法結合於一張表格並不相同。針對一個系統或設備欲分析硬體失效或製程參數異常之危害則必須同時使用兩個方法。但同時使用兩個方法則分析時間加倍，實務上較少這樣執行。

FMEA 與 HazOp 方法之結合表格首見於參考文獻，施元斌，2018，僅為概念，列出一個 FMEA 與 HazOp 結合空白表。本文則繼續上一篇文章將 FMEA 與 HazOp 作結合應用，以煞車系統為分析案例，並以 HazOp 之廣義概念加以分析，兼具節省分析時間，並能完整分析危害。本文的貢獻有二：(1)以結合 FMEA 與 HazOp 兩個方法各自具有之優點，完整找出包含硬體故障危害、參數偏離危害(例如： 溫度過高、流量過低…等危害)、人為操作危害以及外在環境危害，並兼具節省分析時間之優點；(2)並以 HazOp 精神新發展針對車輛煞車系統的參數偏離。分析內容中，風險矩陣之發生機率由車輛之生命週期發生次數加以定義；在災因思考上，透過八大危害因子(動力源管制、基本設計、硬體、軟體、製程特性、人為操作、外力環境與天災害)，在煞車系統上，尤其以外力環境更是不能忽略，例如路面積水，路面摩擦力變小…等。具體而言，以 FMEA 與 HazOp 方法之結合表格，輔以 HazOp 之廣義分析精神對於汽車的煞車系統作分析，能使危害分析範圍更加完整。

貳、FMEA 與 HazOp 方法簡介

由於 FMEA 與 HazOp 為成熟之危害分析方法，故僅對分析方式作簡述。

一、FMEA 簡介

FMEA 為一個表格式之分析方法，亦即分析結果完全顯示於分析表格中，是一種結構化、預防性的可靠度分析技術，所分析之結果較具系統性及科學性。其分析之思考方向從元件失效出發，其目的是用以確立低層單機或元件可能的失效模式，探討其失效發生的原因，及此失效發生後，對元件本身或系統造成的影響，並採行預防性措施及謀求改進的對策。簡言之，FMEA 是以硬體或軟體系統排列之方式，逐步將每一系統或元件之失效前因後果分析出來，其表格形式參考表 1：

表 1　FMEA 記錄表參考例

分系統		模組		元件名稱		功能規格		編號	

失效模式	失效原因	失效效應	偵測方法	嚴重等級	發生機率	處置措施	備考

二、HazOp 簡介

HazOp，是一種強調腦力激盪、集思廣益的分析方法。HazOp 在分析時須集合各種不同經驗、知識和專業訓練的人組成小組成員；並開會互相討論設計及操作上的問題，設法找出製程參數偏離的原因，及可能造成的後果，再針對嚴重者加以更改設計或加強防範措施。

HazOp 為一個表格式之分析方法，分析的核心與結果顯示表格中，表格格式如表 2 所示，而表 2 中之製程參數偏離一欄為分析危害之思考起始點，所分析之內容可參考表 3 所列，以了解製程參數偏離所造成之可能原因、可能後果、相關防護措施是否得當，以及是否需進行改善措施...等。

表 2　HazOp 分析表參考例

製程/操作程序名稱			節點範圍描述		設計目的			
項目	製程偏離	可能原因	可能後果	防護措施	嚴重性	可能性	風險等級	改善建議

表 3　製程參數偏離矩陣

引導字 / 參數	無	相反	較多	較少	部份	多餘	除此之外，又	除…之外
流量	無	逆流	高	低	濃度錯誤	污染	污染	物質錯誤
壓力			高	低			真空	真空
溫度			高	低				
混合	無混合		過度	不足		污染	起泡沫	
液位	無		高	低				
反應	無反應	逆反應	高速率	低速率	反應不完全	過度反應	副反應	反應錯誤
時間			太久	太短				時間錯誤
程序	無步驟	相反	太遲	太早	缺乏部份步驟	重複程序	有多餘動作	措施錯誤

三、風險等級矩陣

針對表格式之分析方法必然有此欄位，包含 FMEA 及 HazOp 兩個方法。危害點找出後，針對每一個危害點，賦予該危害之嚴重等級、發生機率等級，得到一個風險等級，上述三格等級依勞動部所提供之風險評估技術指引內容，列於表 4 至表 6。為了便於應用煞車系統之案例分析，在表 4 事件之頻率等級增加以車子約 20 萬公里之生命週期定義頻率。一般而言，若風險等級屬於 5 或 4 則必須改善，進而針對表 1 或表 2 之”改善建議”欄位撰寫改善建議內容，以作為後續之改善依據。

表 4　事件之嚴重等級

等級		人員傷亡	危害影響範圍
S4	重大	造成一人以上死亡、三人以上受傷、或是可能發生無法復原之職業病的災害	大量危害物質洩漏； 危害影響範圍擴及廠外，對環境及公眾健康有立即及持續衝擊
S3	高度	造成永久失能或可能發生可復原之職業病的災害	中量危害物質洩漏； 危害影響範圍除廠內外，對環境及公眾健康有暫時性衝擊

S2	中度	須外送就醫，且造成工時損失之災害或可能發生因職業健康問題造成工時損失之狀況	少量危害物質洩漏；危害影響限於工廠局部區域
S1	輕度	僅須急救處理，或外送就醫，但未造成工時損失之輕度災害或可能發生因職業健康問題造成工作效率降低之現象	微量危害物質洩漏；危害影響限於局部設備附近，或無明顯危害

表 5　事件之頻率等級

		預期危害事件發生的可能	防護設施的完整性及有效性	事件發生的可能性
P4	極可能	每年 1 次（含）以上；在製程、活動或服務之生命週期內可能會發生 5 次以上	未設置必要的防護設施，或所設置之防護設施並無法發揮其功能	在製程、活動或服務之生命週期(20 萬公里)內可能會發生 5 次以上
P3	較有可能	每 1-5 年 1 次；在製程、活動或服務之生命週期內可能會發生 1 至 4 次以上	僅設置部分必要的防護設施，或對已設置之防護設施，未定期維護保養或監督查核	在製程、活動或服務之生命週期(20 萬公里)內可能會發生 1-4 次以上
P2	有可能	每 5-10 年 1 次；在製程、活動或服務之生命週期內可能會發生 0.2-1 次	已設置必要的防護設施，且有定期維護保養或監督查核使其維持在可用狀態	在製程、活動或服務之生命週期(20 萬公里)內可能會發生 0.2-1 次以上
P1	不太可能	低於 10 年 1 次；在製程、活動或服務之生命週期內不太會發生(0.2 次以下)	除已設置必要的防護設施外，另增設其他防護設施，且有定期維護保養或監督查核，以維持其應有的功能	在製程、活動或服務之生命週期(20 萬公里)內可能會發生 0.2 次以下

表 6 風險等級矩陣

		頻率等級			
		P4	P3	P2	P1
嚴重等級	S4	5	4	4	3
	S3	4	4	3	3
	S2	4	3	3	2
	S1	3	3	2	1

參、FMEA 與 HazOp 方法之結合

硬體結構清楚的系統以 FMEA 分析，而 FMEA 以元件失效為出發點，其盲點在於容易忽略人為失誤、流體的異常以及外在環境異常，因為前述三項不屬於硬體故障，以傳統 FMEA 思考方式無法考慮到這三項。(1)在人為操作方面，包含人員程序錯誤與動作錯誤，在分析汽車煞車系統上，例如汽車駕駛人換錯煞車油；(2)流體異常則包含流體逆流、流體汙染、流體為錯誤濃度以及流體為錯誤物質，在分析汽車煞車系統上，例如：油品與空氣接觸氧化造成油品變質屬錯誤濃度；(3)外在環境異常，包含台電停電、淹水、外物干擾(例如貓狗老鼠入侵)，在分析汽車煞車系統上，例如：路面積水或有油漬，思考角度從 HazOp 著眼，製程參數偏離為摩擦力過低或磨擦力不平均。換言之，一個硬體的失效不只因硬體老化故障而失效，亦可能因人為誤操作而關閉失效(此時閥件並無故障)，進而導致災害事件。一個災害事件亦可能因流體異常而引起，例如：加錯煞車油而造成煞車異常。一個災害事件更可能因環境因素，路面積水濕滑所造成。而上述三種情境，硬體並無故障必須從 HazOp 才能分析到。

硬體結構清楚的系統如以 HazOP 分析，(1)容易產生系統劃分不清楚的缺點；以及(2)製程異常時，針對保護系統僅考慮是否具備，並無進一步的討論保護系統之硬體異常可能導致之危害。

如前兩段所述，在分析複雜之設備或製程，最佳之方式是 FMEA 與 HazOp 兩者皆加以分析，可補足彼此之缺點。然而，兩個方法同時分析可能造成重複分析且分析時間加倍，因此本研究將 FMEA 與 HazOp 兩個分析法結合為一個表格，在分

析煞車系統上，以 FMEA 分析為本，以 HazOp 分析為輔，以 HazOp 補足 FMEA 無法分析之危害，結合表格之格式如表 7。表 7 之第 2 個欄位顯示”組件或元件名稱(製程異常或動作)”，代表以 FMEA 分析時，此欄位記錄組件或元件名稱；當以 HazOp 分析，此欄位則為記載”製程異常或動作”，亦即為製程偏離欄位，其可能為溫度、壓力或液位之異常，亦可能為流體異常或人為誤操作。在本文中，因溫度、壓力或液位之異常可由硬體之失效找出，也就是由傳統 FMEA 分析得到，因此表 7 之分析以 HazOp 分析時，本文主要針對人為誤操作、流體異常及外在環境因素加以補強。

分析表結合的用意在於兩個方法表格欄位很像，但思考危害點的角度並不相同，一個是 FMEA 以硬體失效為出發，一個是 HazOp 以製程參數異常來思考，分析時可互補為用，以使分析結果更完整。

表 7　FMEA 與 HazOp 結合分析表

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	失效原因(請從八大思考)	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級(S1~S4)	頻率等級(P1~P4)	風險等級(1~5)		嚴重等級(S1~S4)	頻率等級(P1~P4)	風險等級(1~5)

肆、剎車系統說明及分析結果

一、剎車系統介紹

傳統剎車系統(如圖 1)包含：剎車踏板、剎車動力缸、剎車總泵、剎車油管、碟式剎車分泵、剎車鉗夾、剎車碟盤、碟式剎車來令、鼓式剎車分泵、鼓式剎車蹄片、剎車鼓等組成。

其作用也就是藉由剎車油利用巴斯葛原理產生油壓，再利用來令片與剎車碟盤或剎車鼓的摩擦力產生制動效果。剎車種類可分為碟式剎車、鼓式剎車及駐車(手剎車)剎車。

二、剎車主要危害概述

剎車主要危害乃是剎車失效而產生與外物或他車撞擊影響到生命安全，造成剎車失效、煞車不良、剎車側滑有幾項原因：

1. 無剎車油：因油管與車體摩擦或外力破壞而造成破損嚴重漏油。
2. 剎車油產生氣泡：因駕駛長時間在下坡路段使用剎車，使得剎車分泵因高溫內部剎車油產生氣泡進而造成無剎車作用，也有駕駛因手剎車未完全放鬆造成來令片長時間磨擦所產生。
3. 剎車來令片無摩擦力：因駕駛長時間在下坡路段使用剎車，使得剎車來令片及煞車碟盤(或剎車鼓)產生高溫造成剎車功能喪失。
4. 前後左右摩擦力不平均。

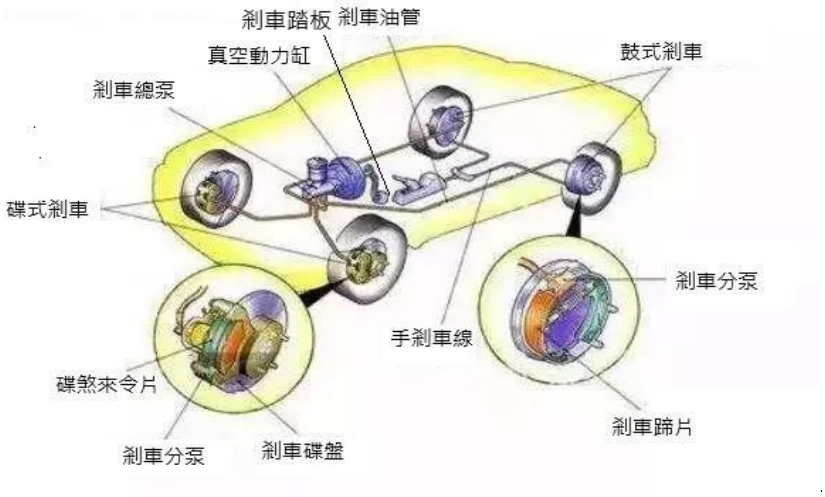

圖 1 剎車結構圖(汽車愛好者，2018)

三、分析結果

以 FMEA 與 HazOp 結合之分析表格，針對汽車煞車系統之分析結果如表 8。表中分三個部分，(一)利用傳統 FMEA 分析，以元件為出發點，表中主要依據圖 1 之硬體系統分析，部分硬體未顯示於圖中，包含表 8 中之第二欄位為 1.剎車踏板、2.剎車燈、3.真空動力泵、4.剎車總泵、5.剎車鋼管、6.剎車軟管、7.碟式剎車分泵、8.鼓式剎車分泵、9.剎車碟盤、10.剎車鼓、11.剎車蹄片、12.來令片、13.鼓式剎車間隙自動調整器；(二)以傳統 HazOp 之參數偏離，包含表 8 中之第二欄位為以 14.壓力過低、15.無壓力、16.液位過低、17.錯誤濃度、18.汙染、19.錯誤物質、20.人為操作失當及 21.溫度過高來分析；(三)跳脫傳統 HazOp 分析之偏離參數，針對車輛煞車系統所發展之參數偏離，包含表 8 中之第二欄位為：22.摩擦力過小、23.摩擦力不平均、24.車道偏離、25.視覺死角、26.側向滑動。

本研究之分析結果，風險矩陣為半定量估計之分析方式，因重點強調找出危害點之完整性，故並無針對危害點進一步討論其定量之發生機率。分析結果之說明針對風險等級為 4 之討論如下：

(一) 傳統 FMEA 分析：

(1) 13 個元件之硬體失效，絕大部分必須透過定期維修保養或更換元件來降低風險。

(2) 1-3 卡住(風險等級 4)之失效模式來自於外在環境因素：罐頭或異物卡住，改善方式為駕駛座下方設計擋片。

(3) 1-4 剎車踏板自由行程太大(未適時調整) (風險等級 4)：維修人為失誤，改善方式為設計間隙自動調整。煞車踏板間隙過大將造成煞車無法即時停住，所以車輛工程師發明汽車煞車來令與煞車鼓間隙自動調整器來降低風險等級。

(二) 利用傳統 HazOp 分析

(1) 15 無壓力之參數偏離，原因：底盤撞擊，破管造成煞車油洩漏(風險等級 4)或維修時人為失誤剎車油排空未裝填(風險等級 4)；原有之保護措施：儀表板有裝設油位警示燈(一般與手煞車同一燈號)，以及將整個剎車油管外部加層包覆。但煞車油位警示燈亮起駕駛容易誤判手煞車燈故障而亮，故改善建議：(i)煞車油液位過低時設計讓車輛無法啟動，以及(ii)液位過低語音警報”煞車油洩漏中，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛而肇禍。

(2) 針對 18 汙染(風險等級 4)，原因：由於溫度過高產生剎車油管中有油氣，建議：加裝油溫警告器，降溫系統。

(3) 20 人為操作失當，風險等級 4 有四個，原因：(i)過度踩剎車造成油溫過高；(ii)手煞車忘了放，因煞車來令與剎車鼓磨擦造成剎車油溫度過高(也可能破胎)；(iii)過度疲勞打瞌睡造成車輛偏移或追撞前車；(iv) 找(撿)東西分心誤踩油門或方向失控偏移而造成事故。針對油溫過高之改善建議：於剎車系統加裝溫度感測器與警示；油溫過高語音警報”煞車油溫過高，即將煞車失靈，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛。過度疲勞打瞌睡或找(撿)東西分心造成車輛偏移，改善建議為：建置眼球監視警報系統或軌道偏離預警系統。

(4) 針對 21 油溫過高，風險等級 4 有一個，所分析之結果重複於 20 人為操作失當，故省略說明。

(三) 跳脫傳統 HazOp 分析之偏離參數

(1) 24.車道偏離，風險等級 4 有兩個，所分析之結果重複於 20 人為操作失當，故省略說明。

(2) 25. 視覺死角(風險等級 4)，原因：看不到周圍人或物而疏於防範造成事故，改善建議：盲點偵測系統連鎖煞車與語音。

(3) 26.側向滑動，原因：左右輪胎氣壓、磨損程度或胎紋不一樣(風險等級 4)，改善建議：裝設胎壓偵測器，異常時傳至手機警報。

表 8 汽車剎車系統之危害分析與風險評估

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
剎車系統	1.剎車踏板	踩下推推桿	1-1 打滑	踏板塑膠墊磨損		造成剎車不靈追撞前方，可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	加強定期檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P2	3				
			1-2 踩空	銷與推桿脫落或斷裂		造成無剎車追撞前方，可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	加強定期檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			1-3 卡住	1-3-1 罐頭或異物卡住(外力環境)		造成無剎車追撞前方，可能引起人員重大傷亡	駕駛座下方設計擋片	開車前的檢查空間	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	駕駛座下方設計擋片	S4	P1	3
				1-3-2 總泵活塞卡死		造成無剎車追撞前方，可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			1-4 剎車踏板自由行程太大(未適時調整)	維修人為失誤		發生車禍導致人員傷亡	可裝置剎車油壓表	定期保養,出車前試踩剎車	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	設計間隙自動調整	S4	P1	3
	2.剎車燈		2-1 燈泡燒掉	設備故障		造成後方車不察追撞，可能引起人員重大傷亡	第三煞車燈	出車前檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P2	3				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
			2-2 開關損壞	設備故障		造成後方車不察追撞，可能引起人員重大傷亡	(1) 第三煞車燈 (2) 可在儀表板加設警告燈	出車前檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
			2-3 線路斷	設備故障		造成後方車不察追撞，可能引起人員重大傷亡	(1) 第三煞車燈 (2) 可在儀表板加設警告燈	出車前檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P1	2				
	3.真空動力泵	輔助剎車力	3-1 內膜片破損	元件老化		剎車力降低追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P1	2				
			3-2 控制閥洩漏	元件老化		剎車力降低追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P1	2				
			3-3 連接進氣岐管之真空管破損	元件老化		剎車力降低追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P1	2				
	4.剎車總泵	剎車油產生壓力	4-1 油壺破損	無剎車油		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
			4-2 活塞損壞	元件老化、卡死		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			4-3 皮碗損壞	剎車油內漏		造成剎車不靈追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
			4-4 單向閥損壞	3-4-1 剎車油內漏		造成剎車不靈追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
				3-4-2 剎車油無壓力輸出		造成剎車不靈追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
			4-5 防止門損壞	無法保持管路殘壓		剎車力降低追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
			4-6 剎車總泵的進油孔堵塞	設備故障		剎車效能降低，發生車禍導致人員傷亡	可裝置剎車油壓表	定期保養,出車前試踩剎車	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
	5 剎車鋼管	傳送油壓	5-1 震動磨耗破損	老化		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度，加強固定	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			5-2 因外力撞擊變形阻塞	底盤撞到義務		剎車力降低追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度，外圍加包覆	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
	6 剎車軟管	傳送油壓	6-1 震動磨耗破損	無剎車油壓		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度，加強固定	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			6-2 老化龜裂破損	無剎車油壓		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
			6-3 外力割破	無剎車油壓		造成無剎車追撞前方、可能引起人員重大傷亡	外層加強包覆	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	7 碟式剎車分泵	產生剎車力	7-1 活塞損壞	7-1-1 卡住無法前進		造成單側無剎車作用	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S2	P2	3				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
				7-1-2 卡住無法回復		來令片磨碟盤產生噪音及損壞	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			7-2 油封損壞	7-2-1 漏油		造成單側無剎車作用	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
				7-2-2 活塞卡住無法回復		來令片磨碟盤產生噪音及損壞	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			7-3 防塵套破損	活塞或剛體銹蝕活塞卡住		造成單側無剎車作用或噪音	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
	8 鼓式剎車分泵	產生擴張力	8-1 活塞損壞	8-1-1 卡住無法前進		造成單側無剎車作用	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
				8-1-2 卡住無法回復		單側來令片咬死產生噪音及損壞	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			8-2 皮碗損壞	8-2-1 漏油		造成單側無剎車作用	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
				8-2-1 因漏油來令或剎車鼓沾油汙		造成單側無剎車作用	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
			8-3 防塵套破損	活塞或剛體銹蝕活塞卡住		造成單側無剎車作用或噪音	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
	9 剎車碟盤	產生摩擦力	9-1 不正常磨耗	摩擦力降低		造成單側剎車力降低	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			9-2 變形	摩擦力降低		造成單側剎車力降低或偏擺	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
	10 剎車鼓	產生摩擦力	10-1 不正常磨耗	過度使用		造成單側剎車力降低	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			10-2 變形	元件老化		造成單側剎車力降低或偏擺	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
	11 剎車蹄片	支撐來令片	變形	元件老化		造成單側剎車力降低或偏擺	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
	12 來令片	產生摩擦力	12-1 變形	元件老化		造成單側剎車力降低或偏擺	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				
			12-2 磨耗	過度使用		造成單側剎車力降低或剎車損壞	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
			12-3 質量不佳或有油污	設備故障		剎車效能降低發生車禍導致人員傷亡	提高產品品質	定期保養，出車前試踩剎車	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P2	3				
	13 鼓式剎車間隙自動調整器	駐車制動力	13-1 棘輪損壞	元件老化		無手剎車或拉不緊	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P1	1				
			13-2 撓繩斷裂	元件老化		無手剎車或拉不緊	增加材料耐用度	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P1	1				
	14 壓力過低			底盤撞擊，破管造成煞車油洩漏		煞車功能漸失效，可能發生車禍導致人員傷亡	(1) 儀表板有裝設油位警示燈(一般與手煞車同一燈號) (2) 將整個剎車油管外部加層包覆		駕駛及乘客綁安全帶	S3	P2	3				
	15 無壓力			底盤撞擊，破管造成煞車油洩漏(外力環境)		無煞車，可能發生重大車禍導致人員重大傷亡	(1) 儀表板有裝設油位警示燈(一般與手煞車同一燈號) (2) 將整個剎車油管外部加層包覆		駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	(1) 煞車油液位過低，車輛無法啟動 (2) 液位過低語音警報”煞車油洩漏中，請立即路邊停車”防止行駛	S4	P1	3

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
													中之車輛繼續行駛			
				維修時人為失誤**剎車油排**空未裝填(人為失誤)		無煞車，可能發生重大車禍導致人員重大傷亡	儀表板有裝設油位警示燈	出車前試踩剎車，加強人員教育訓練及制定 SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	(1) 煞車油液位過低，車輛無法啟動 (2) 液位過低語音警報”煞車油洩漏中，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛	S4	P1	3
	16 液位過低			前端管路洩漏或來令片磨損造成煞車油液位過低		煞車功能漸失效，可能發生車禍導致人員傷亡	液位過低與手煞車指示燈為一個		駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
				維修人為失誤，剎車油換油量不足		效，可能發生車禍導致人員傷亡	油位警告燈	定期保養,出車前試踩剎車	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	17.錯誤濃度	.		正常磨耗造成油髒污		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡	提高油品品質	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P2	3				
	18 汙染			與空氣接觸氧化造成油變質		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡	提高油品品質	定期保養更換	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P2	3				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
				溫度過高產生剎車油管中有油氣		發生車禍導致人員傷亡	可裝置剎車油壓表、油溫表	加強教育訓練,出車前試踩剎車	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	加裝油溫警告器，降溫系統	S4	P1	3
	19 錯誤物質			人員換油失當造成油品錯誤		經過一段時間嚴重破壞剎車系統		加強人員教育訓練及制定SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	20 人為操作失當			過度踩剎車造成油溫過高		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡	於剎車系統加裝溫度感測器	加強人員教育訓練及制定SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	於剎車系統加裝溫度感測器與警示；油溫過高語音警報”煞車油溫過高，即將煞車失靈，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛	S4	P1	3
				手煞車忘了放，因煞車來令與剎車鼓磨擦造成剎車油溫度過高(也可能破胎)		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡	手煞車指示燈	加強人員教育訓練及制定SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	於剎車系統加裝溫度感測器與燈號警示	S4	P1	3
				過度疲勞打瞌睡造成車輛偏移或追撞前車		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡			駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	(1)眼球監視警報系統 (2)軌道偏離預警系統	S4	P1	3

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
				找(撿)東西分心誤踩油門或方向失控偏移而造成事故		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡			駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	軌道偏離預警系統	S4	P1	3
	21.溫度過高			過度踩剎車造成剎車油溫度過高		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡		加強人員教育訓練及制定SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	(1) 煞車鼓或蹄片加裝溫度感測器與燈號警示 (2) 油溫過高語音警報”煞車油溫過高，即將煞車失靈，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛	S4	P1	3
				手煞車忘了放，因煞車來令與剎車鼓磨擦造成剎車油溫度過高		易產生氣泡影響剎車、可能引起人員重大傷亡	手剎車未放警示燈	加強人員教育訓練及制定SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	22.摩擦力變小			因左右或前後各輪，摩擦力不均而飄移		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡	動態穩定系統		駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	23.摩擦力不平均			因左右或前後各輪，摩擦力不均而飄移		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡	動態穩定系統		駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3				
	24.車道偏離			人員分心或操作不當造成車輛偏移或追撞前車		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡			駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	軌道偏離預警系統	S4	P1	3

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
				人員疲勞造成車輛偏移或追撞前車		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡			駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	眼球監視警報系統	S4	P1	3
				人員因突發疾病(例如心肌梗塞) 造成車輛偏移或追撞前車		失控而產生事故，可能引起人員重大傷亡			駕駛及乘客綁安全帶	S4	P1	3	眼球監視警報連鎖自動煞車系統			
	25. 視覺死角			看不到人或物疏於防範造成事故		因視覺誤差而造成對方死傷				S4	P2	4	盲點偵測系統連鎖煞車與語音	S4	P1	3
	26.側向滑動			左右輪胎氣壓、磨損程度或胎紋不一樣		緊急剎車可能導致翻車，人員傷亡	裝設胎壓偵測器	加強教育訓練，出車前檢查	駕駛及乘客綁安全帶	S4	P2	4	裝設胎壓偵測器，異常時傳至手機警報	S4	P1	3
				左右輪轂軸承鬆緊程度不一		緊急剎車可能導致翻車，人員傷亡	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P2	3				
				單邊剎車分泵卡住，不能完全張開		緊急剎車可能導致翻車，人員傷亡	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
				單邊剎車管路漏油、堵塞或變形		緊急剎車可能導致翻車，人員傷亡	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				
				定位有問題		行駛不穩定		加強教育訓練並建立SOP	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P2	2				

1.設備、組件或元件			2 危害類型、原因與影響				3.現有防護設施			4.控制前預估風險			5.降低風險所採取之控制措施	6.控制後預估風險		
系統或設備	組件或元件名稱(製程參數異常或動作)	功能規格	失效模式(或情境)	**失效原因(請從八大思考)**	危害類型(TW)	可能造成影響之情境描述	工程控制(含偵測或連鎖)	管理控制	個人防護具	嚴重等級	頻率等級	風險等級		嚴重等級	頻率等級	風險等級
				轉向拉桿鬆脫		行駛時方向盤不受控制	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P1	1				
				車架或懸吊變形		車身會傾斜	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S1	P1	1				
				剎車比例閥故障		部分輪位無剎車	提高材料耐用度	加強定期保養	駕駛及乘客綁安全帶	S3	P1	3				

伍、討論與結論

本研究主要貢獻有兩個：(一)將適合分析硬體的 FMEA 與適合分析製程的 HazOp 加以結合，提出一個新的 FMEA 之修正分析表，主要修正了分析表格內容及結合兩者之危害思考方向；(二)以 HazOp 精神發展出分析車輛煞車系統的偏離參數，包含表 8 中之第二欄位為：22.摩擦力過小、23.摩擦力不平均、24.車道偏離、25.視覺死角及 26.側向滑動，以找出更多的危害點使分析結果更完整。

經 FMEA 與 HazOp 結合之修正表，分析得知車輛煞系統出問題的情況有系統損壞、環境外在因素、人為因素(駕駛操作行為)、人為因素(維修保養技術人員)等等狀況所造成，透過此次的分析所得到的各項風險等級從 1~4 不等，而風險等級在 3 以下的話評估為可接受之等級，在風險等級 4 以上則為需進一步改善。由分析結果得知：(1) 以傳統 FMEA 分析，風險等級 4 的危害有 2 個；(2)以傳統 HazOp 之參數偏離，風險等級 4 的危害有 8 個；(3)針對車輛煞車系統本文發展之 HazOp 分析的偏離參數，風險等級 4 的危害有 4 個。上述風險等級 4 的危害共有 14 個，扣除 3 個重複，共有 11 個危害點。11 個危害點內容已列於”肆、剎車系統說明及分析結果”及表 8 中。針對上述 11 個風險等級 4 的危害點，有幾點事項以下討論：

(一) 針對硬體老化而導致功能失效，絕大部分必須透過定期維修保養或更換元件來降低風險，以及維修人員專業素養需調教或實施之部分，一直是車廠努力的方向，此處不進一步討論。

(二) 針對 15 無壓力之參數偏離，亦即無煞車油情形，一般保護系統較常採取儀表板有裝設油位警示燈(一般與手煞車同一燈號)及將整個剎車油管外部加層包覆。也因煞車液位過低與手煞車未放為同一燈號，容易為駕駛人疏忽為燈號故障，質疑：手煞車已放為何燈號仍亮？故此處建議：(i)煞車油液位過低時車輛無法啟動，以及(ii)液位過低語音警報”煞車油洩漏中，請立即路邊停車”防止行駛中之車輛繼續行駛。上述兩個建議是目前車廠少有的功能，但卻重要。

(三) 針對 18 汙染與 20 人為操作失當所造成之煞車油高溫，此處建議：(i)於剎車系統加裝溫度感測器與警示；(ii) 煞車鼓撒水降溫系統 (目前大型重負荷車輛均有裝設) (iii)油溫過高語音警報”煞車油溫過高，即將煞車失靈，請立即路邊停車”，以防止行駛中之車輛繼續行駛。上述第(i)及(iii)這兩個建議是目前車廠少有的功能，但卻也重要。

(四) 針對 20 人為操作失當，其原因為：過度疲勞打瞌睡造成車輛偏移或追撞前車或找(撿)東西分心誤踩油門或方向失控偏移而造成事故，此處建議：建置眼球

監視警報系統與軌道偏離預警系統。

(五) 針對 25、視覺死角，原因：看不到周圍人或物疏於防範造成事故，改善建議：盲點偵測系統連鎖煞車與語音，上述改善建議已見於高級房車中。

(六) 針對 26.側向滑動，原因：左右輪胎氣壓、磨損程度或胎紋不一樣(風險等級 4)，改善建議：裝設胎壓偵測器，異常時傳至手機警報。

(七) 針對 24.車道偏離之分析，風險等級 4 有兩個，已重複於(四)之針對 20 人為操作失當說明中。此處特別針對：人員因突發疾病(例如心肌梗塞) 造成車道偏移或追撞前車加以討論，其為風險等級 3，主要針對一般私人轎車之分析。針對一般公車或大型遊覽車因乘客數眾多，嚴重度過高，應將此危害列為風險等級 4。亦即須裝設眼球監視警報並連鎖自動煞車系統，方能將乘客人命作較妥善之保護。上述建議尚未見於公車及大型遊覽車。

(八) 表 8 內容僅分析不到 80 列，卻已經相當於分析了 FMEA 及 HazOp 兩個方法，內容相當精簡，具節省分析時間。

本研究 FMEA 與 HazOp 之修正表格及結合不同危害思考方向的分析方式，以車輛煞車系統為實施例。分析結果包含：系統零組件老舊(失效)或磨耗損壞所造成的傷害、管路內流體異常所造成之危害，以及人為操作不當(駕駛)或維修保養不當(維修技師)的疏失危害。結果顯示：本文章之修正方式能完整分析硬體故障、參數異常以及人為疏失所造成的危害，並具節省分析時間之優點。也期待分析結果能具體提升汽車之煞車保護系統。

參考文獻

王世煌，2012，《工業安全風險評估》。揚智文化。

王新義，2019，《運用失效模式與效應分析(FMEA)進行車輛煞車系統之故障診斷》。崑山科技大學碩士論文。

汽車愛好者，2018， https://kknews.cc/car/5oabjxl.html, 發表於汽車。

財團法人安全衛生技術中心，2010，《危險性工作場所製程安全評估訓練班三階段訓練教材》。危險性工作場所製程安全評估訓練班訓練教材。

施元斌，2018，〈危害因子與風險評估工具〉。《工業安全衛生月刊》第 354 期：59-72。

陳昆賢，2018，《比較 HAZOP 與 LOPA 評估方法於石化廠氫氣壓縮機風險的差異》。國立雲林科技大學碩士論文。

游輝祥與施元斌，2008，《失效模式與影響分析—製程安全評估人員證照班訓練教材》。財團法人安全衛生技術中心。

張炳杰，2017，《失效模式與效應分析(FMEA)之應用-以個案公司自行車避震器上叉管生產製程為例》。國立虎尾科技大學碩士論文。

勞委會，2012，〈危險性工作場所審查暨檢查辦法〉。中華民國 101 年 7 月 13 日行政院勞工委員會勞檢 5 字第 1010150753 號令修正。

勞動部，2015，〈風險評估技術指引〉。中華民國 104 年 12 月 4 日勞動部職業安全衛生署勞職綜 1 字第 1041041628 號函修正。

黃清賢，1996，《危害分析與風險評估》。三民書局。

黃國強，2003，《應用 HAZOP 及 RBI 系統於輕裂工場風險分析及其效益之研究》。國立成功大學碩士論文。

張悅，石超與方來華，2011，〈基於 FMEA 和 HAZOP 的綜合分析方法及應用研究〉。《中國安全生產科學技術》第 7 卷(第 7 期)：146-150。

楊昌裔，2004，《系統安全設計與危害分析》。文京出版社。

楊禮彬，2012，《危害與可操作分析（HAZOP）與失誤樹分析（FTA）應用於乙炔製程之研究》。嘉南藥理科技大學碩士論文。

葉忠益，2010，《應用 HAZOP 及 Hazard Tree Analysis 風險分析技術於蒸汽鍋爐工場之適用性研析》。嘉南藥理科技大學碩士論文。

廖吳聖，2013，《結合失效成本與 FMEA 之研究-以汽車零件製造公司為例》。元智大學碩士論文。

謝國慶，2015，《運用 FMEA 方法分析台灣汽車修護廠之服務流程品質》。南臺科技大學碩士論文。

P. H. Jesty, K. M. Hobley, R. Evans, and I. Kendal, 2000, “Safety analysis of vehicle-based systems”, pp. 90–110 in Proceedings of the 8th Safety-critical Systems Symposium, ser. LNCS 1943. Springer.