

Development of the Adaptive Headlight System for Motorbikes

Tz-Nong Chu¹ , Chung-Neng Huang^{2*}

^{1,2}, Graduate Institute of Mechatronic System Engineering, National University of Tainan,
Taiwan

^{2*}E-mail :kosono@mail.nutn.edu.tw

Abstract

Since Taiwan is densely populated, city parking is difficult, people tend to choose motorbikes which are with higher flexibility, small size, easy parking, lower commuting costs, cheaper maintenance, and convenience as a means of transportation.

According to Department of Transportation statistics, in 2017 a total of 296,826 car accidents were registered, of which A1 rating locomotive accident accounted for 46 percent while only 29% of private cars, which shows demand for motorcycles is more security than a car, a car accident that occurred between 18:00 and 06:00 of 53.3%. It also shows the current backward locomotive lighting equipment cannot guarantee the safety of night riding, it is how to control light pollution while improving lighting levels, it is bound to become a major depot want to solve the most urgent problems and world trends.

In this study, the design concept is extremely innovative in two axes to create a system to control the dimensions of the three-axis three-dimensional effect, a more subtle gravity inversion technique to achieve the specular reflection portions of the power removed from the actuator to the pursuit of the reliability of the work. Lamps are also equipped with 9-axis motion detection sensors, etc., can be made to capture the dynamics of the body, and to propose appropriate feedback resolve to meet the most stringent ECE R123 and other relevant norms. The projection-type lamp which is mounted a light-emitting diode light source, spare no control and in response to a force on the speed of light pollution, and also seeks to reduce carbon emissions, to be healthy and safe together to create the global environment, which is maintained in the lamp market in Taiwan leadership, is hereby established the relevant patent map data, after clearly relevant insight into market demand and the corresponding program, and would like to do: To do the right thing and do the thing right.

Keywords: vehicles with inclination characteristics, two-axle system, gravity type, reflector, ECE R123.

* Corresponding author:kosono@mail.nutn.edu.tw
DOI : 10.3966/222344892020041001005

機車主動式頭燈系統的研發

朱宇農, 黃崇能

國立臺南大學機電系統工程研究所

摘要

由於台灣地狹人稠，城市中停車位一位難求，國人往往選擇機動性較高、體積小易停車、通勤成本低、維修保養較低廉方便以及操作簡易的摩托車作為代步工具。根據交通部統計，於2017年共有296,826起車禍登記在案，而其中A1等級事故中機車占達46%而私家車僅為29%，這顯示出於摩托車是比汽車更有安全方面的需求，其18:00至06:00發生的車禍占53.3%。這也顯示出目前落後的機車照明設備已不能保障夜晚騎乘的安全，故如何在提升照明亮度的同時控制光污染，勢必成為各大車廠最為迫切想解決的問題以及世界趨勢。

本研究以極度創新之設計概念打造出以兩軸系統達到三軸立體維度之控制效果，更巧妙利用重力翻轉反射鏡面之手法達到免去部分電力致動器以追求作品之可靠性。燈具更配備九軸動作偵測等感測器，能對車身動態做出捕捉，並能提出相應解決反饋，以符合最為嚴苛之 ECE R123 等相關規範。其燈具搭載投射式發光二極體光源，在光污染的控制以及響應速度上不餘遺力，同時也力求節能減碳，欲共同打造健康安全的地球環境，其為維持台灣於車燈市場之領導地位，特此建立相關之專利地圖資料，在能清晰洞察相關市場需求以及相應方案後，盼能做到：**To do the right thing and do the thing right.**

關鍵詞：具傾角特徵車輛、兩軸系統、重力式、反射鏡面、ECE R123

1. 緒論

1.1 研究背景與動機

由於台灣高度開發造成地狹人稠，城市中停車位一位難求，國人往往選擇機動性較高、體積小易停車、通勤成本較低、維修保養較低廉方便以及操作簡易的摩托車作為代步工具。所以即使家庭中已擁有汽車仍然會保有摩托車作為機動性的代步工具，其中短程作為機動通勤使用，而長程移動屬於興趣使然，摩托車所帶給人們的方便性往往是汽車所無法匹敵的。然而，根據交通部統計，摩托車的危險性卻是大於汽車，於 2019 年共有 296,826 起車禍登記在案，而其中 A1 等級事故中摩托車占達 46%而私家車僅為 29%，這顯示出於摩托車是比汽車更有安全方面的需求[1]。根據 P.-W. Chiu 等人研究顯示，18:00 至 06:00 發生的車禍占 53.3% [2]。這也顯示出目前落後的摩托車照明設備已不能保障夜晚騎乘的安全，故如何在提升照明亮度的同時控制光污染，勢必成為各大車廠最為迫切想解決的問題以及世界趨勢。

如上所述，探討提升照明亮度成為本研究主軸之一，然而一味提高燈具功率並不是一個節省能源的方法，提高的應是發光效率，在 LED(發光二極體)技術發展成熟的今日，LED 被視為是極佳的照明工具之一，尤其應用在車輛上更是恰當。LED 相較舊式的鹵素燈具有著極高速的響應、三倍的發光效率以及五十五倍的使用壽命[3]。高速響應可於車輛遭遇突發事件快速做動不受燈泡響應時間影響，發光效率的提高有效降低車輛發動機之發電系統負載達到節能減碳效果，使用壽命的提升代表了燈具零組件更具可靠性亦不需製作大量備品以達降低製造成本等環保目的。雖然市面上有眾多 LED 競品，但無法有效控制光污染乃為售後改裝之通病，在無法有效解決光污染的問題之前，實不應做相關改裝。

而台灣地理環境，以面積而論，平原地區面積計 9489.90 平方公里，僅占總面積 26.36%，其餘 73.64%皆由山地與丘陵所構成，曲折延綿高低迭起的山路往往是高度危險的路段[4]。汽車為了因應上述之路況各家車廠發展出了各家之自適應頭燈系統，然而摩托車卻鮮少發展此項領域。據交通部統計，汽車領牌數為 7,948,783 輛，摩托車領牌數卻高達 13,755,582[1]。如此巨大的移動人口冒著風險摸黑前行，卻缺乏先進照明系統的保護，此乃本研究欲根本解決的問題。

1.2 研究目的

由前述可知，摩托車頭燈的發展已經從傳統照明轉變成為智慧轉向照明，且與傳統一味追求更高功率的方式不同，本研究著重在追求光利用率，以提高光線之使用率作為第一要務，同時為了盡可能避免造成額外之浪費，因此捨棄多光源形式之設計，而採用單一光源進行操作。

本研究為了減少曲折道路與昏暗環境對行車安全的影響，有效的降低視線不良與提高能見度，因此提出先進前方光源照射系統，能夠在進入路口、圓環或彎道前，將頭燈光源照射方向變更為行進方向，讓行進方向前方道路之不明物體，可以被光束照亮。另

外，採用投射式光源技術可以協助駕駛注意在前方路上的行人、騎士、動物等的同時將對向車道之車輛影響降到最低[5, 6]。先進前方光源照射系統結合自動轉向頭燈、車輛姿態偵測、LED 光源控制等技術，當先進前方光源照射系統在路口、圓環或彎道等特殊路段時，可移動之光束照在行進方向道路上，讓駕駛人可以辨認道路前方可能的不明物體，以增加行車的安全性，以及降低交通意外事故發生的風險。

有鑑於此，本研究即是整合多軸式頭燈、光學設計與分析、電路設計、軟體設計與機械設計等多項相關專業領域，進行「重力式二軸三維摩托車頭燈系統的研發」之研究，本研究之頭燈之照射策略為先轉至正確方向，再進行高度微調，以達到準確的車輛姿態判斷，及作出相應照射方向。除了頭燈精確的動作之外，另外更重要的是響應時間的控制，即使擁有良好的判斷及動作，若響應時間過於冗長其實際應用方面也將變得不可行。而縮短辨識時間的方式則是透過替換翻滾軸方向之電機之方式改善，採用機械動作之方式，一來簡單可靠，二來具有較短響應時間，避免過多的運算與驅動電機時，所造成響應時間過於漫長。

1.3 摩托車頭燈照明法規之探討

1.3.1 各國車輛安全審核制度比較

本論文所研究乃為先進頭燈系統，首先必須先行探討相關法規對頭燈是否有相關規範及限制，而現今各國皆有設法對車輛之安全進行相關規範，各國如歐盟、美國亦對車輛之安全有強制性法規規範，目前台灣車輛安全法規其法源為公路法，其權責機關及認證機構為交通部，審驗機構為交通部授權委託之車輛專業技術研究機構，檢測機構則為經交通部認可之監測機構，各國車輛安全審核制度比較結果如表 1.3.1[7]。

表 1.3.1 各國車輛安全審核制度比較表[7]

認證制度	政府認證				自我認證
	歐洲	日本	台灣	中國	美國
制度法源	各國自訂法令及1958協定	道路運送車輛法	公路法	機動車輛類強制性認證實施規則	美國聯邦法規 CFR Title 49
法規依據	EEC/ECE	保安基準	車輛/零組件形式安全及品質一致性審驗作業要點	國家標準 (GB)	FMVSS
權責機關	交通主管機關	運輸省	交通部	國家認證認可監督委員會(3C認證)及國家發展和改革委員會(審批)	運輸部/國家公路交通安全管理局 (NHTSA)
認證機構				中國質量認證中心(3C認證)及國家發展和改革委員會(審批)	產業界自我認證
審驗機構				交通部授權之車輛專業技術研究機構	
檢測機構				認可之檢測機構	

以摩托車頭燈照明相關法規來看，目前較為具代表性乃為歐盟 ECE(Economic Commission for Europe)[8]與美國 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standards)[9]之相關法規，而美國部分亦可參考美國機動車工程師學會 SAE(Society of Automotive Engineers)[10]，SAE 的研究對象是機動車、飛機、發動機、材料和製造等，制定相關的標準。這個組織雖然不是政府組織，但是 SAE 的標準具有相當的權威性，FMVSS 中的大多技術參數就是來自於 SAE 制定的標準。而日本及中國等國家之摩托車頭燈照明相關法規其基礎架構或參數皆參考自上述兩大具代表性規範所制定，因此本研究僅針對歐盟、美國及台灣現行之摩托車頭燈照明相關法規進行差異性比較，其比較結果可提供台灣相關產業進行產品開發時有所依據及政府建立摩托車頭燈照明相關法規時有所參考依據。

1.3.2 歐盟現行摩托車頭燈照明相關法規

根據歐盟 ECE R53 法規「燈光信號安裝(摩托車)法規」之相關規定[11]，如所示圖 1.3.1，載明近光燈與遠光燈安裝數量，R53 法規以 125 立方公分作為分級界線，小於等於者需一至兩個經相關法規認證之遠近光燈具而光型不限於對稱式(R113 Class B、C、

D、E)或非對稱式(R112)，大於等於者需經相關法規認證之遠近光燈具而光型不限於一至兩個對稱式(R113 Class B、D、E)或一至兩個非對稱式(R112)或兩個對稱式(R113 Class C)，而對稱式及非對稱式照明規範需遵從其相關法規規範。

- 6. Individual specifications**
- 6.1. Driving-beam headlamp
- 6.1.1. Number:
- 6.1.1.1. For motorcycles having a cylinder capacity $\leq 125 \text{ cm}^3$
One or two of approved type according to:
- (a) Class B, C, D or E of Regulation No. 113;
 - (b) Regulation No. 112;
 - (c) Regulation No. 1;
 - (d) Regulation No. 8;
 - (e) Regulation No. 20;
 - (f) Regulation No. 57;
 - (g) Regulation No. 72;
 - (h) Regulation No. 98.
- 6.1.1.2. For motorcycles having a cylinder capacity $> 125 \text{ cm}^3$
One or two of approved type according to:
- (a) Class B, D or E of Regulation No. 113;
 - (b) Regulation No. 112;
 - (c) Regulation No. 1;
 - (d) Regulation No. 8;
 - (e) Regulation No. 20;
 - (f) Regulation No. 72;
 - (g) Regulation No. 98.
- Two of approved type according to:
- (h) Class C of Regulation No. 113.

圖 1.3.1 ECE 燈光信號安裝(摩托車)法規之各別規範[11]

本研究著重於光型處理，固特別探討關於光型之相關法規，根據法規量測方式，受測之照明燈具應距離配光螢幕 25 公尺，受測之照明燈具需能提供足夠清楚之明暗截止線(Cut-off Line)以做為調整使用。本研究之目標車輛為汽缸總排氣量逾 50 立方公分或電動車輛之馬達及控制器最大輸出馬力逾 5 馬力，或其最大車速逾 50 公里每小時之具傾角特徵之車輛，依照上述特徵根據歐規分類應為 L-Class 車輛[12]，如圖 1.3.2 所示。

2. Classification of power-driven vehicles and trailers³

- 2.1. Category L – Motor vehicles with less than four wheels
 - 2.1.1. "*Category L₁*": A two-wheeled vehicle with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine not exceeding 50 cm³ and whatever the means of propulsion a maximum design speed not exceeding 50 km/h.
 - 2.1.2. "*Category L₂*": A three-wheeled vehicle of any wheel arrangement with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine not exceeding 50 cm³ and whatever the means of propulsion a maximum design speed not exceeding 50 km/h.
 - 2.1.3. "*Category L₃*": A two-wheeled vehicle with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine exceeding 50 cm³ or whatever the means of propulsion a maximum design speed exceeding 50 km/h.
 - 2.1.4. "*Category L₄*": A vehicle with three wheels asymmetrically arranged in relation to the longitudinal median plane with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine exceeding 50 cm³ or whatever the means of propulsion a maximum design speed exceeding 50 km/h (motor cycles with sidecars).
 - 2.1.5. "*Category L₅*": A vehicle with three wheels symmetrically arranged in relation to the longitudinal median plane with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine exceeding 50 cm³ or whatever the means of propulsion a maximum design speed exceeding 50 km/h.
 - 2.1.6. "*Category L₆*": A vehicle with four wheels whose unladen mass is not more than 350 kg, not including the mass of the batteries in case of electric vehicles, whose maximum design speed is not more than 45 km/h, and whose engine cylinder capacity does not exceed 50 cm³ for spark (positive) ignition engines, or whose maximum net power output does not exceed 4 kW in the case of other internal combustion engines, or whose maximum continuous rated power does not exceed 4 kW in the case of electric engines.
 - 2.1.7. "*Category L₇*": A vehicle with four wheels, other than that classified for the category L₆, whose unladen mass is not more than 400 kg (550 kg for vehicles intended for carrying goods), not including the mass of batteries in the case of electric vehicles and whose maximum continuous rated power does not exceed 15 kW.
- 2.2. Category M - Power-driven vehicles having at least four wheels and used for the carriage of passengers
 - 2.2.1. "*Category M₁*": Vehicles used for the carriage of passengers and comprising not more than eight seats in addition to the driver's seat.
 - 2.2.2. "*Category M₂*": Vehicles used for the carriage of passengers, comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum mass not exceeding 5 tonnes.

³ The text reproduced in this paragraph is the up-to-date version of Annex 7 to the consolidated Resolution (TRANS/WP.29/78/Rev.1) established by the Working Party on the Construction of Vehicles. It is based on document TRANS/WP.29/78/Rev.2.

圖 1.3.2 動力車輛與拖車分類法規[12]

由於本研究之目標車輛分布於 L3、L4、L5，因屬於 L-Class 車輛因此 R112[13]及 R113[14]皆適用，如表 1.3.2、表 1.3.3 所示。

表 1.3.2 非對稱光型頭燈適用車輛一覽表[13]

NO	編號	ECE R112										
1	名稱	非對稱光型頭燈 (Headlamps (with an Asymmetrical Passing Beam))										
2	目的	規範非對稱光型頭燈近、遠光燈之配光要求與良好的照明										
3	適用範圍	本法規適用L, M, N及T類車輛之頭燈										
4	對應車種	M			N			L				
		M1	M2	M3	N1	N2	N3	L1	L2	L3	L4	L5
		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

表 1.3.3 對稱光型頭燈適用車輛一覽表[14]

NO	編號	ECE R113										
1	名稱	對稱光型頭燈 (Headlamps (with a Asymmetrical Passing Beam))										
2	目的	規範非對稱光型頭燈近、遠光燈之配光要求與良好的照明										
3	適用範圍	本法規適用L及T類車輛之頭燈										
4	對應車種	M			N			L				
		M1	M2	M3	N1	N2	N3	L1	L2	L3	L4	L5
		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

以下則探討兩項法規，由於台灣採用右行左駕交通系統，因此本研究將以相應系統作為示範，設計適用於右行交通系統時，明暗截止線在螢幕左半部應為水平；而設計適用於左行交通系統時，則明暗截止線在螢幕右半部應為水平，歐規R112照明燈具之近光配光螢幕如圖 1.3.3所示。

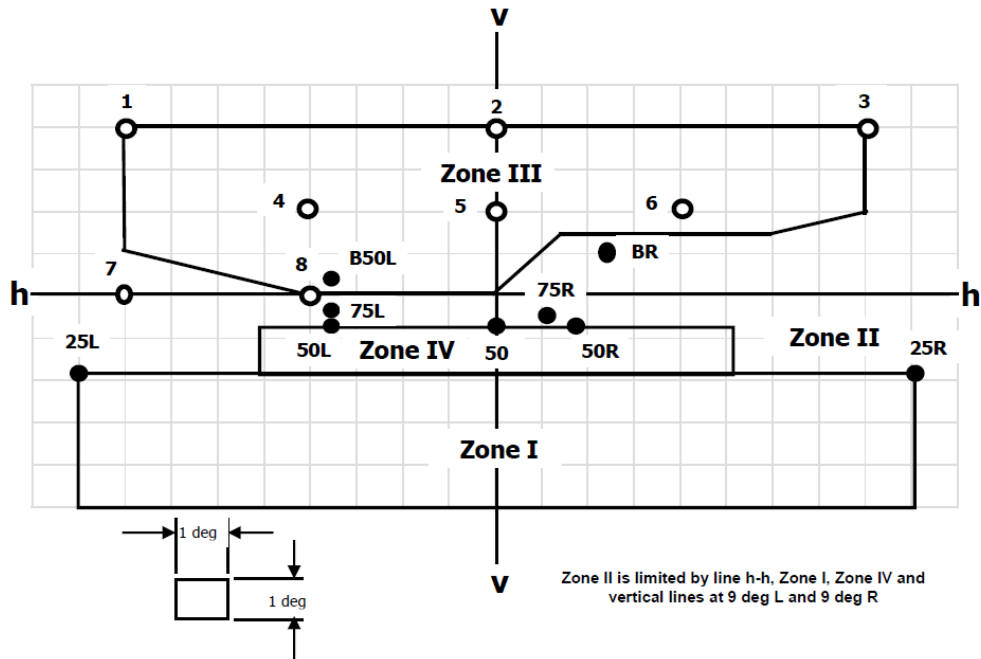


圖 1.3.3 ECE R112 照明燈具之近光配光螢幕[13]

近光燈須提供足夠清楚之"明暗截止線(cut-off)"以作為調整之用，而明暗截止線原則上為一水平直線，類型 A、B、C 和 D 頭燈應位於水平線 ± 3 度範圍內，歐規 R113 Class B、C、D、E 照明燈具之近光配光螢幕如圖 1.3.4 與圖 1.3.5 所示。

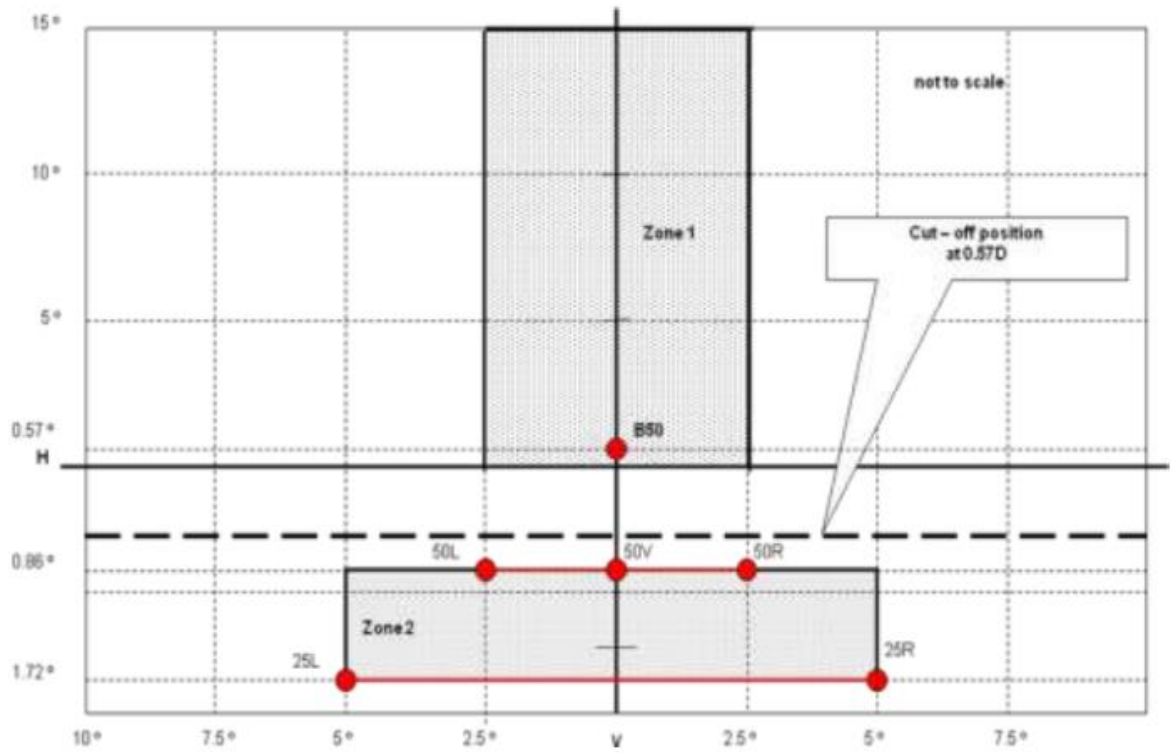


圖 1.3.4 R113 B 類頭燈之近光配光螢幕[14]

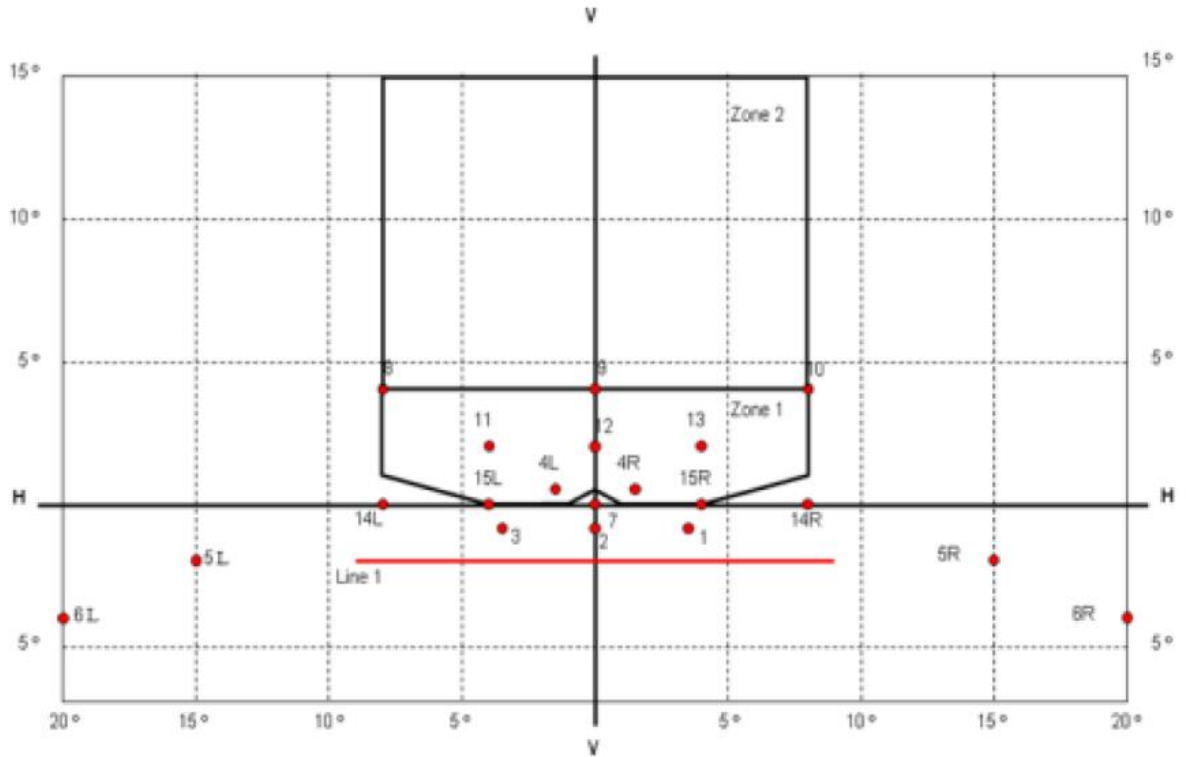


圖 1.3.5 R113 C、D、E 類頭燈之近光配光螢幕[14]

針對前方照明頭燈具遠近光功能者，另有遠光燈相關規範須遵守，其遠光燈之配量測方式應與近光燈量測時採用相同對準位置，類型 A 頭燈遠光燈於配光螢幕上產生之配光並無要求，其餘類型則須遵守相關規範。

1.3.3 美國現行摩托車頭燈照明相關法規

根據美國摩托車頭燈照明法規 FMVSS 108「燈、反光裝置及相關設備」之相關規定，載明摩托車頭燈等受測器至受光器距離最小應為 18.3 公尺以上[15]，而美國車輛及車燈製造商有責任證明每輛機動車及車燈完全符合 FMVSS 108 的最低性能要求，但這是自認證過程，而不需特定機構進行審驗批准，即非強制性的認證機制，製造商可以自由選擇廠內自我產品測試，或選擇由非營利的州際組織 AMECA(Automotive Manufacturers Equipment Compliance Agency, Inc.)認可的檢測機構或實驗室執行測試，其測試結果必須能滿足 FMVSS 108 的法規要求。

FMVSS 108 另外設有上市產品抽測程序，對境內上市產品，採事前製造商自我品質保證，只要製造商宣告其產品符合法規要求並依規定標示清楚即可銷售；上市產品的稽查程序，採事後由國家公路交通安全局 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)執行零組件的稽查作業，但經抽查產品不符合，製造商或供應商必須提出充分理由，並進行產品召回作業，若製造商不依法處理，地區法院可以處以民事高額罰金，若因此造成人員死亡或嚴重身體傷害之情事，則將處以刑事有期徒刑。

1.3.4 台灣現行摩托車頭燈照明相關法規

目前摩托車頭燈之相關標準皆須通過中華民國國家標準 CNS(National Standards of the Republic of China)法規所制定之基本照射及量測之準則，如 CNS 中總號 14501/類號 D2202 之「機器腳踏車燈光信號裝置標準」[16]，並且須符合「公路法(2007 年 1 月 4 日修正)」中「道路交通安全規則(2010 年 2 月 27 日修正)」第三十九之附件七「車輛燈光與標誌檢驗規定」之相關要求[17]。

鑒於本研究旨在於有益台灣與國際車輛市場接軌，因此將各主流摩托車車燈法規進行比較與討論，下述將列舉美國、歐盟與台灣之車輛燈光法規進行比較，其比較結果如表 1.3.4 所示。

表 1.3.4 車輛燈光與標誌檢驗法規(摩托車部分)比較表

	歐洲	美國	台灣
法規編號	ECE R53 燈光信號安裝(機車)	FMVSS 108 燈、反光裝置及相關設備(機車頭燈部分)	CNS：總號 14501，類號 D2202 機器腳踏車燈光信號裝置標準
燈光顏色	遠光燈：白色 近光燈：白色	遠光燈：白色 近光燈：白色	遠光燈：白色、淡黃色 近光燈：白色、淡黃色

<p>遠光燈</p> <p>1.數量：一或二個。</p> <p>2.位置</p> <p>(一)寬向上：獨立遠光燈可裝於另一前燈之上或下方或一側：若這些燈在其他之頂端，則遠光燈參考中心必須在車身中心縱向面上;若這些燈相鄰放置，則其參考中心必須相對車身中心縱向面對稱;若遠光燈與另一前燈為光學組成，則其安裝時必須使其參考中心位在車身中心縱向面上;然而，當車輛於遠光燈旁亦裝置獨立近光燈時，則其參考中心必須相對車身中心縱向面對稱。</p> <p>(二)長向上：裝於車輛前方。若射出之光線不會對駕駛！者直接或經由後視鏡或其它反光面間接造成不適即視為合格。</p> <p>3.幾何可視性：照明面之可視性（包括在觀察方向上不出現照明之區域），在以由照明面與頭燈參考軸迴旋 5 度所形成之視野為基礎所構成之發散空間內應能確保。</p>	<p>1.數量：一或二個。</p> <p>2.若系統包含單燈，其應裝於機車之垂直中心線上。若頭燈包含一個以上之光源，則每一光源，應垂直配置並使遠光燈高度不超過近光燈;或是以水平等高配置於垂直中心線兩側。若光源為水平配置於垂直中心線兩側時，光源前方兩相鄰之有效透鏡邊緣最近間距應不超過 200 m。</p> <p>3.若系統包含雙燈，每一個均提供遠光及近光，則其應以水平等高對稱於垂直中心線兩側或裝於垂直中心線上之方式安裝。若頭燈為水平配置於垂直中心線兩側時，兩相鄰之有效透鏡邊緣最近間距應不超過</p>	<p>1.數量：一或二個。</p> <p>2.獨立遠光燈可裝於另一前燈之上，下方或旁邊，但基準中心須在車輛中心縱向面上。雙燈並排組成時，兩燈之基準中心須對車輛中心縱向面對稱。</p> <p>3.獨立遠光燈照明面邊緣與近光燈照明面邊緣之距離不得超過 200mm。相鄰遠光燈照明面內緣之距離不得超過 200mm。</p> <p>4.最小幾何可視角：以照明面週圍對應基準軸迴旋 5 度所形成之發散區域，計算原點係以照明面投影於與透鏡相切並垂直車輛縱向面之平面輪廓為準。</p>
--	---	---

	<p>4.其它要求：可同時點亮之遠光燈累計最大光度值應不超過225,000 cd。</p>	<p>200 mm。</p> <p>4.若系統包含雙燈，一個提供遠光且另一</p>	
近光燈	<p>1. 數量：一或二個。</p> <p>2. 位置</p> <p>(一)寬向上：獨立近光燈可裝於另一前燈之上或下方或一側：若這些燈在其他之上方，則遠光燈參考中心必須在車身中心縱向面上;若這些燈相鄰放置，則其參考中心必須相對車身中心縱向面對稱。若近光燈與另一前燈為光學組成，則其安裝時必須使其參考中心位在車身中心縱向面上。然而，當車輛於近光燈旁亦裝置獨立遠光燈時，則其參考中心必須相對車身中心縱向面對稱。</p> <p>(二)長向上：裝於車輛前方。若射出之光線不會對駕駛者直接或經由後視鏡和其它反光面間接造成不適即視為合格。</p> <p>3.幾何可視性 a=朝上 15 度;朝下 10 度; B=單燈朝左右各 45 度; B=成對燈朝外 45 度且朝內</p>	<p>個提供近光，則其應垂直配置並使遠光燈高度不超過近光燈;或是以水平等高配置於垂直中心線兩側之方式安裝。若頭燈為水平配置於垂直中心線兩側時，兩相鄰之有效透鏡邊緣最近間距應不超過 200mm。</p>	<p>1.數量：一或二個。</p> <p>2.獨立近光燈可裝於另一前燈之上，下方或旁邊，但基準中心須在車輛中心縱向面上。雙燈並排組成時，兩燈之基準中心須對車輛中心縱向面對稱。3.距地面高度應介於 500 至 1200mm 之間。相鄰近光燈照明面內緣之距離不得超過 200mm。</p> <p>4.最小幾何可視角：單燈時垂直角朝上 15 度，朝下 10 度，水平角朝左右各 45 度;雙燈時，水平角朝外 45 度朝內 10 度。</p>

	10 度。分割線或其它靠近頭燈裝置之存在不應產生會造成其它用路者不適之二次效應。		
--	--	--	--

1.3.5 結語

總結以上各主流法規之論述及數據，歐洲的 ECE 車輛安全法規較具有國際性，其經分析後可知台灣相關法規調性及方向應朝向歐洲法規參考，同時也被許多非歐盟體系國家所採用與參考，包括中國、日本等，且較有益於國內相關產業與國際車輛市場接軌，以促進國內相關產業之發展，而根據目前觀察，台灣也確實在數據及相關規定中大量參考歐洲法規作為依據。

1.4 研究原創性

本研究計畫首先參考即是以發展多年的汽車自適應頭燈系統，1947 年 Tucker Torpedo 的中置大燈採用了轉向連接照明，後來被雪鐵龍 DS 普及[18]。這使得當方向盤轉動時可以在行進方向上轉向燈，並且是最早的垂直軸(Yaw-axis)轉向頭燈技術。1948 年雪鐵龍 2CV 在法國推出，帶有手動頭燈調平系統，由駕駛員通過機械桿連桿旋鈕控制[19]。這允許駕駛員調整頭燈的垂直方向以補償車輛中的乘客和貨物負載，是最早的水平軸(Pitch-axis)轉向頭燈技術。這些技術仍停留在一維控制並且不能很好的涵蓋大部分的路況。

2000 年開始，人們重新興起移動或優化頭燈光束的想法，其中不僅考慮車輛動態與懸吊動力學，而且還加入環境天氣和能見度條件，車輛速度以及道路曲率和起伏。2006 年 Mercedes-Benz 於 E-Class 級距車款首先搭載可二維控制且具現代化之自適應頭燈系統，藉由不斷自動調整頭燈照射範圍，使光束能夠到達前方的其他車輛，從而始終確保最大可能的視距，而不會刺激其他道路使用者[20]。

由於汽車的運動模式與機車的運動模式存在巨大的差異，汽車行進間倘若需轉彎僅需偏轉垂直軸(Yaw-axis)。但在機車上卻是截然不同，機車行進間倘若需轉彎不僅需偏轉垂直軸(Yaw-axis)，還須依速度的不同而不同角度地偏轉翻滾軸(Roll-axis)[21]。因此，直接將汽車之先進自適應頭燈系統移植至機車上實屬不明智的決定，機車所需乃是 3D 立體維度的控制，其中包含了垂直軸(Yaw-axis)、水平軸(Pitch-axis)以及翻滾軸(Roll-axis)。

本研究意圖在僅使用兩軸的前提下達到三軸的控制，可參考圖 1.4.1 所示，由垂直軸與翻滾軸混和而成，其混和軸之角度亦為本計畫研究重點。減少一軸向意味著降低故障發生的機率，更代表著成本的下降，以在車廠可接受的成本內盡可能完善功能與最大化提高國人的行車安全。

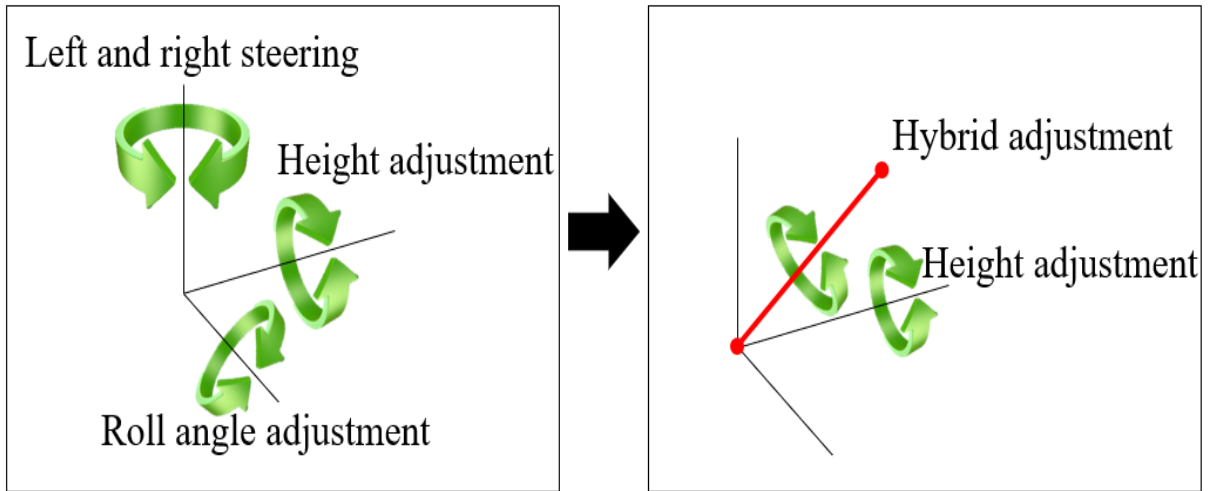


圖 1.4.1 三軸系統簡化為兩軸系統示意圖

舉凡國內外之轉向動力皆為致動器所推動，本計畫提出以重力作為軸向系統之轉向動力，其具有故障率低、維修週期長、響應速度快與可靠度佳等優點，與一般需依靠電能相比之下更能節省致動器所消耗之電能。參閱圖 1.4.2，其配重單元浮動固定於小齒輪之固定孔，中間齒輪為反向傳遞齒輪，其大小齒比於偏轉角度上起到決定性作用，齒輪帶動傳動軸將動能傳遞至反光鏡，反光鏡固定於混和軸之同軸位置，反光鏡的反轉促使光路發生偏轉達到角度補償之作用。

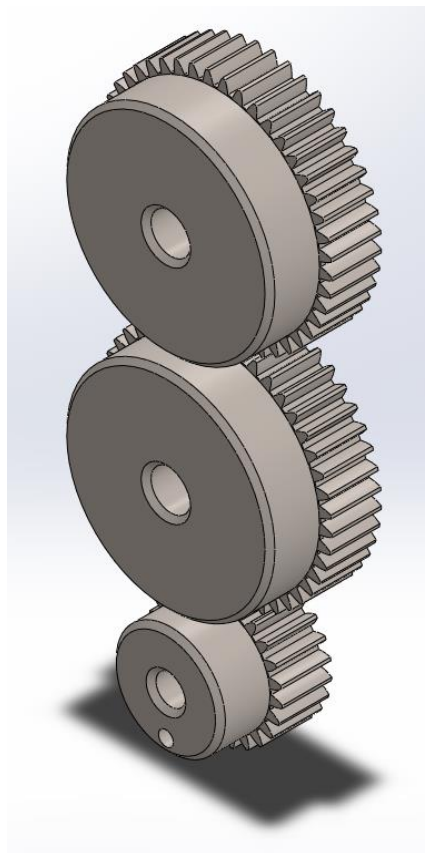


圖 1.4.2 齒輪組示意圖

1.5 論文編排架構

本文主要針對車輛姿態分析模擬與定位進行分析模擬，以車輛姿態資訊，包括車速，俯仰角，滾轉角等變化量分析為特徵進行分析，並結合地心引力設計出一自適應照明系統。藉由導入車輛模擬軟體(BikeSim)系統進行姿態類型辨識並推導出統御方程式，藉由車輛姿態統御方程式進行光型模擬(LightTools)並推論出合適光型，最後加入常見地形地理環境應用可行性之驗證。本文共分成五個章節：

第一章、緒論

包含先進頭燈系統簡介與研究動機、目的、法規，並說明故障辨識之嚴重性及重要性，以及故障辨識發展，並提出不同辨識系統缺點，由當今全球機車頭燈照明發展走向著手，並在安全第一考量下，探討摩托車之行車安全性，接著藉由夜間車禍統計得出車輛成長等資料，來印證適路性摩托車頭燈照明系統，的確與機車夜間行車肇事有其關聯性，接著探討國際機車頭燈研發趨勢，接著比較各先進國家與摩托車頭燈照明相關的車輛安全審驗制度，再來分析歐洲，美國及台灣現行摩托車頭燈照明法規之差異性。

第二章、文獻回顧

簡介各類型摩托車先進頭燈照明類型，回顧各類型頭燈系統原理及優缺點，針對改進缺點及問題進行探討，介紹相關優點適用於本研究之原因，以及繼承各文獻的優點之應用層面及本研究中應用範疇。

第三章、研究方法

詳述研究架構及研究架構等流程，說明研究工具之可靠性並加以介紹，最後揭露本研究之相關資料處理過程。

第四章、摩托車行駛於直線之動態模擬

詳述車身姿態與車速改變對頭燈調整角度之影響，並運用摩托車動態分析軟體，模擬車輛行駛於一般道路常見路況，量測其近光燈光束照射點部位所產生的上下位移，再對此量測之位移進行 FFT 頻率分析，藉此找出頭燈在此狀況下所需的截止頻率，再設計低通濾波器來控制不必要的高頻光束調整。同時本章提出頭燈俯仰角動態模擬及控制策略，其中包含摩托車模型的建立、路面模型的建立、摩托車俯仰角之動態模擬、光型振動位移模擬與頻率分析及控制策略設計，最後進行直線動態模擬結果分析。

第五章、摩托車行駛於彎道之動態模擬

詳述彎道視線不佳對行駛安全之影響，並且運用摩托車動態分析軟體對摩托車側傾過彎之運動進行分析，經由結果提出摩托車滾轉角與偏航角之動態模擬及控制策略，其中包含路面模型的建立、摩托車側傾角之動態模擬以及對摩托車偏航角之動態進行模擬，最後進行彎道動態模擬結果分析。

第六章、適應性二軸三維引力式摩托車頭燈設計

根據摩托車動態模擬結果設計出創新之適應性二軸三維引力式 LED 摩托車頭燈系統，並且以實體顯示出各種動態光型變換，同時本章將提出頭燈系統改善照明效益數據，以及創新摩托車頭燈系統之設計圖，並且詳述適應性照明模式及其附屬之功能，最後進行結果與分析，以驗證此系統是可以實際應用於生活中。

第七章、結論與未來展望

對本研究提出結論與總結，並且提出未來之研究方向。

2. 文獻回顧

2.1 摩托車頭燈之發展

多數人對車頭燈的印象就是用在夜晚照亮路面，但其實頭燈除了這項主要功能外，亦同時能擔任位置燈的工作，由於摩托車車體較狹窄，在路上很容易遭到前後車輛的忽視，因此點亮大燈來提高路上辨識度也是近年主流的發展趨勢。既然頭燈如此重要，那麼若是燈光昏暗便無法發揮頭燈保護行車安全的作用，因此近年來許多車廠都在新車上配備高亮度的 LED 大燈，舊款車主也相繼 DIY 升級現有車燈，並且由現今摩托車照明趨勢來看，摩托車頭燈照明將由目前定光型且定向式摩托車頭燈逐漸轉變為轉向式適應性頭燈。因夜間駕駛車輛安全的考量及車輛電子的技術發達，未來摩托車將把轉向式適應性頭燈系統列為摩托車之標準配備，由圖 2.1.1 可明顯看出配備轉向式適應性頭燈系統之機車將可大幅改善摩托車夜間騎乘於彎道時，頭燈因車身姿態改變所造成之照明死角。

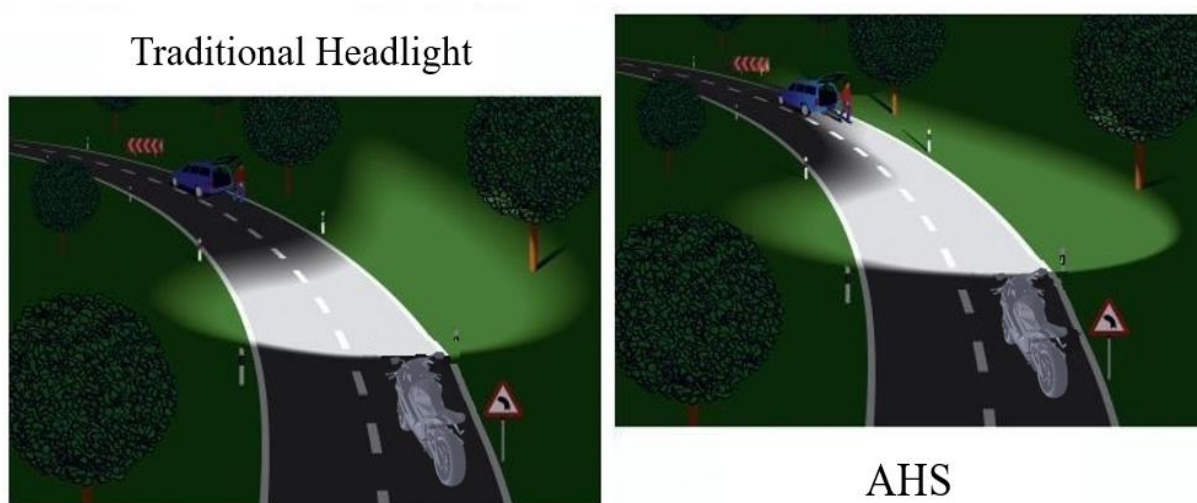


圖 2.1.1 傳統燈具與先進燈具比較[20](再創作)

2.2 摩托車適應性頭燈之發展

自適應頭燈系統之主要元件有：光源、光學元件、致動器與各種感測元件...等。這些元件的組合即為系統配置方式，其又分為主動式和被動式。光源可以區分為鹵素燈、高強度氣體放電燈(High Intensity Discharge, HID)、發光二極體(Light-emitting diode, LED)與雷射二極體(Laser Diode, LD)。光學元件可以是鏡面反射式或是鏡片投射式，然而綜合光利用率以及空間成本，結合以上兩種方式已為主流。致動器又分為直線致動器以及旋轉致動器，由於直線致動器的成本過於高昂，因此普遍皆採用旋轉致動器也就是通稱的馬達。感測元件的選用是自適應頭燈系統的分水嶺，分為主動式與被動式，被動式自適應頭燈系統通常搭載動作感測器、數位電子羅盤、陀螺儀與加速度計以判斷車輛動態，

而主動式自適應頭燈系統增加有 GPS 衛星定位模組或者距離檢測器甚至是影像辨識系統。

通常自適應頭燈系統架構通常為，在頭燈構造的內部進行幾何連動機構之相關設計，當車輛於行駛期間，藉由車輛速度感知器、轉角感知器等感測器，分別取得車速、轉角訊號及相關數據後，交由系統進行路況判斷，進而驅動致動器，調整頭燈照明方向，以提供足夠的照明給駕駛，其架構如圖 2.2.1 所示。

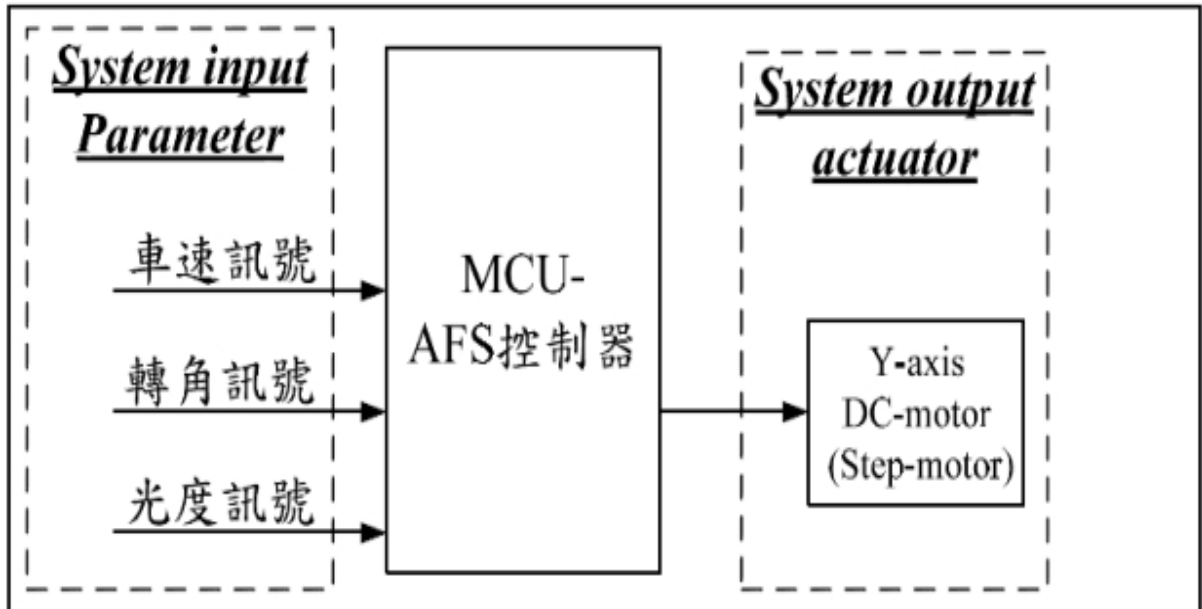


圖 2.2.1 BENZ AFS 控制架構圖[22, 23]

2.3 相關文獻回顧

2.3.1 單軸式頭燈

單軸頭燈系統以提供水平調整或垂直調整為調整主軸，其結構簡單維修方便，汽車廠商已行之有年，但較為單一的功能性較為不敷使用，因此汽車廠商於高階車款皆配備雙軸之頭燈系統做為替代，但在摩托車領域當中，有配備自適應頭燈系統已算少數之高端車種或改裝品，而單軸頭燈系統仍屬大宗，如歐洲專利數據庫(Espacenet)中由 KOITO MFG CO LTD 所申請之「Vehicle lamp and rotary driving apparatus」[24]即為單軸式頭燈系統且為水平軸調整，如圖 2.3.1 所示。

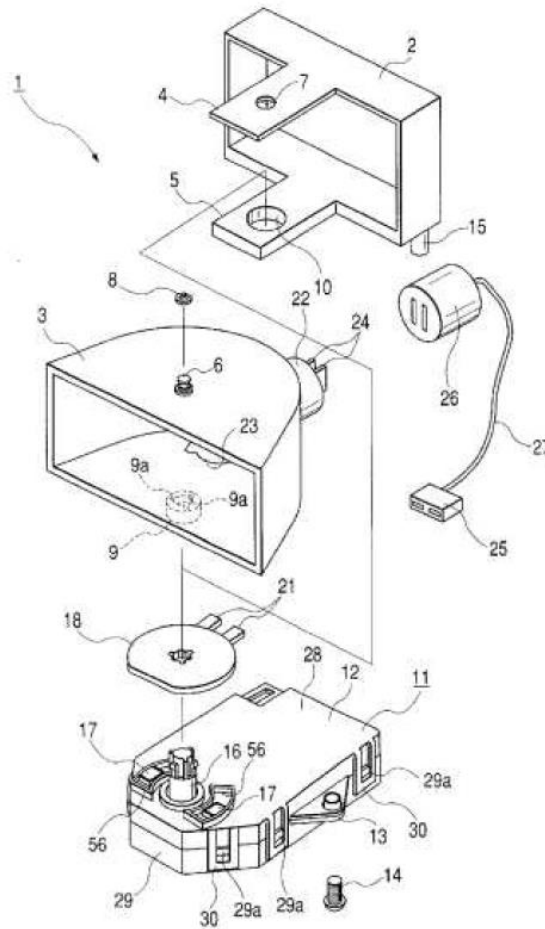


圖 2.3.1 水平軸調整之單軸頭燈系統[24]

在摩托車領域中，因運動特性的關係，因此在垂直軸、水平軸與翻滾軸之三軸修正當中以翻滾軸最為重要，又以黃坤照(2017)提出之「可自動修正投射角度的載具頭燈」[25]專利即單軸式頭燈系統最具代表性，如圖 2.3.2 所示。

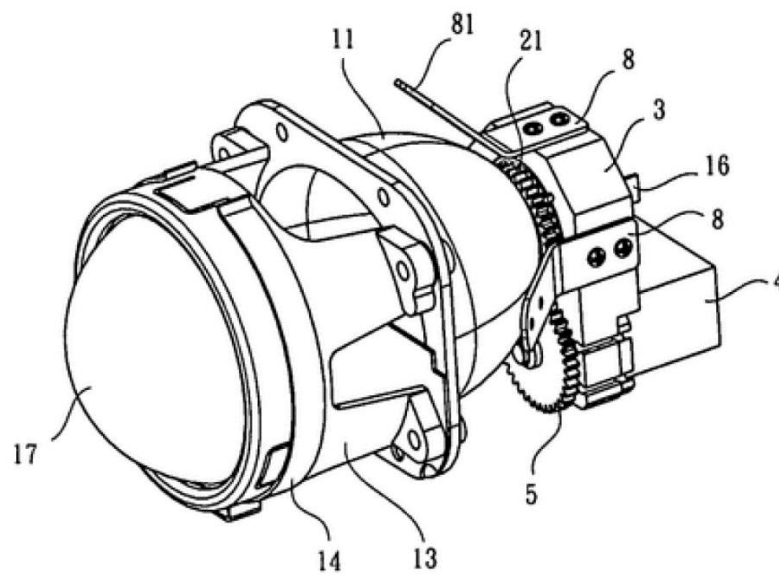


圖 2.3.2 可自動修正投射角度的載具頭燈[25]

此項專利為一種可自動修正投射角度之載具頭燈，主要包括頭燈本體、傳動齒輪組、軸承固定座、馬達及驅動齒輪，而軸承固定座為可鎖在固定爪片，被動齒輪套件則固定於頭燈本體的後端，並將被動齒輪套件套入軸承，馬達則鎖固於軸承固定座的下方，並且驅動其驅動齒輪，再搭配水平感知器，用於偵測摩托車的車頭燈在轉向或是車身側傾時，傳送摩托車頭燈的水平轉向或側傾數據，命令馬達的驅動齒輪可同步驅使被動齒輪組作動，使頭燈本體能自動修正，並且改變車頭燈的水平投射方向或側傾偏擺角度，以確保頭燈的投射永遠保持為最佳水平與正向投射效果，用以增進騎乘安全。

2.3.2 雙軸式頭燈

雙軸頭燈系統能同時提供兩個軸向之調整，其較為符合自適性，亦能符合 ECE R123 等規範，其規範包含了 5 項段位，等級 C(基本)、等級 V(城鎮/低速)、等級 E(高速公路)、等級 W(濕路)與彎曲模式。由於各廠商致力於發展雙軸頭燈系統，因此目前雙軸系統乃為汽車市場主流，其技術與機構設計上也較為成熟先進，但在摩托車領域則鮮少此類別設計發表。

由上述可知雙軸式頭燈系統相較單軸頭燈系統多了一個自由度可進行調整，但在此類別中僅有以垂直軸與水平軸作為調整之文獻，本文以黃楷極(2009)提出之「可自行轉向頭燈控制結構」[26]專利進行相關說明。

此專利包含兩頭燈、兩水平調整框與光源，兩水平調整框上、下側結合，頭燈座框另側與垂直調整馬達的軸心相對的頂撐部，及水平調整馬達帶動連桿樞結的連結，配合馬達驅動裝置以微處理器與方位感知器、速度位移感知器與車輛電源連結，又與水平調整馬達及垂直調整馬達連結驅動組成，其中光源外圍凸設一結合凸緣四角落貫設四結合孔，兩水平調整框相對延伸兩結合端貫設結合孔而相對疊組於光源結合凸緣上結合，而連結件為一“}”狀的片體，以上、下延伸兩結合端貫設結合孔相對疊組於兩水平調整框的一結合端上結合，而以中段延伸一樞結片與水平調整馬達連結；其中，水平調整馬達之軸心端部以一嵌槽提供一轉盤嵌結凸部嵌結帶動，而由轉盤一側樞結一連桿與連結件之樞結片樞結組成水平左右迴擺牽動之組合，其中馬達驅動裝置可進一步配合手動控制器與微處理器連結，手動控制器設有上、下、左、右等四個按鍵，以及可供切換自動控制與手動控制的 AUTO 切換鈕，其專利整體如圖 2.3.3 所示。

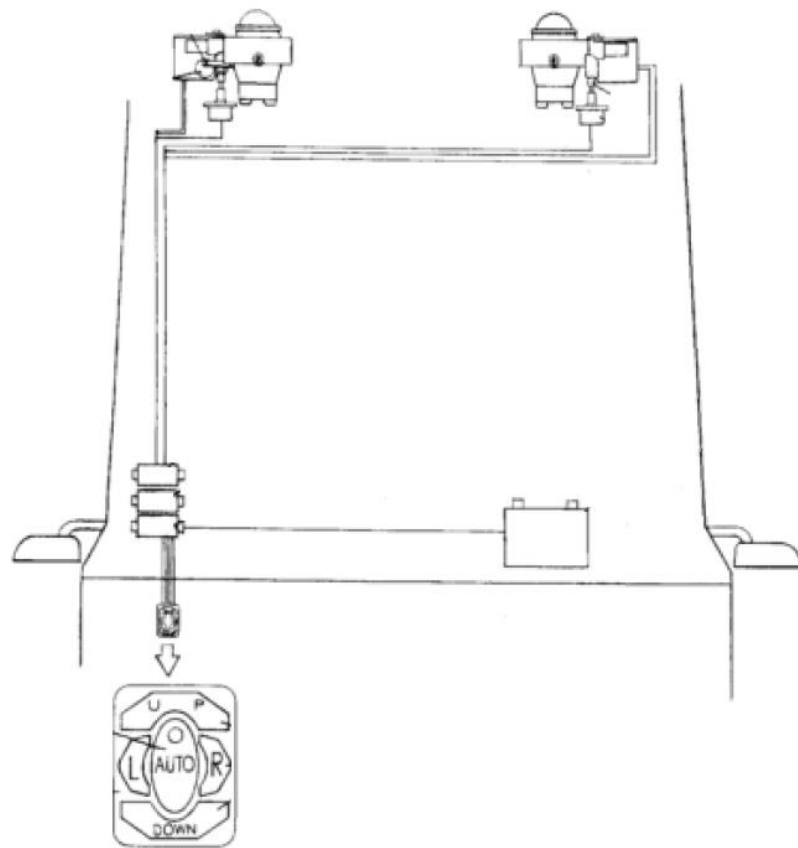


圖 2.3.3 可自行轉向頭燈控制整體結構圖[26]

由上述可知，此項專利功能包含上、下、左、右四個動作，其能提供兩個自由度，也就表示能比單軸頭燈系統多提供更多調整動作，由一維度的照明調整提升至二維平面，如圖 2.3.4 及圖 2.3.5 所示。

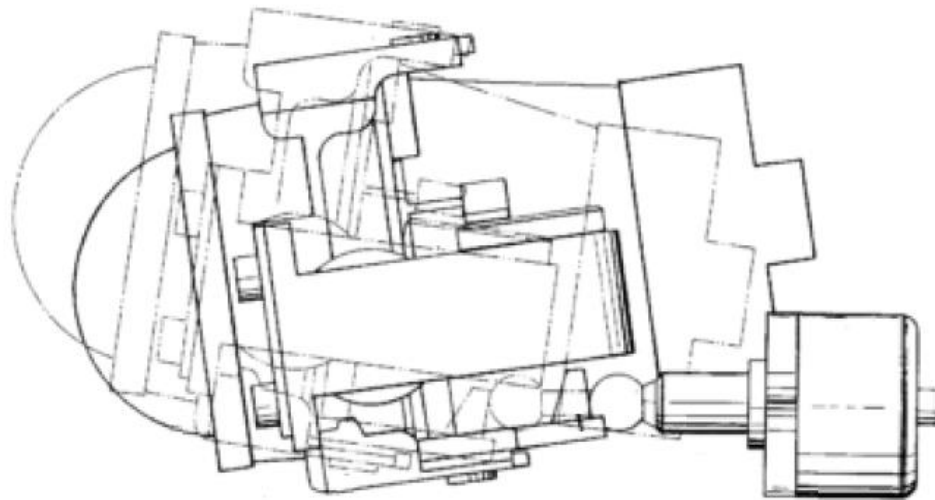


圖 2.3.4 可自行轉向頭燈控制水平軸調整[26]

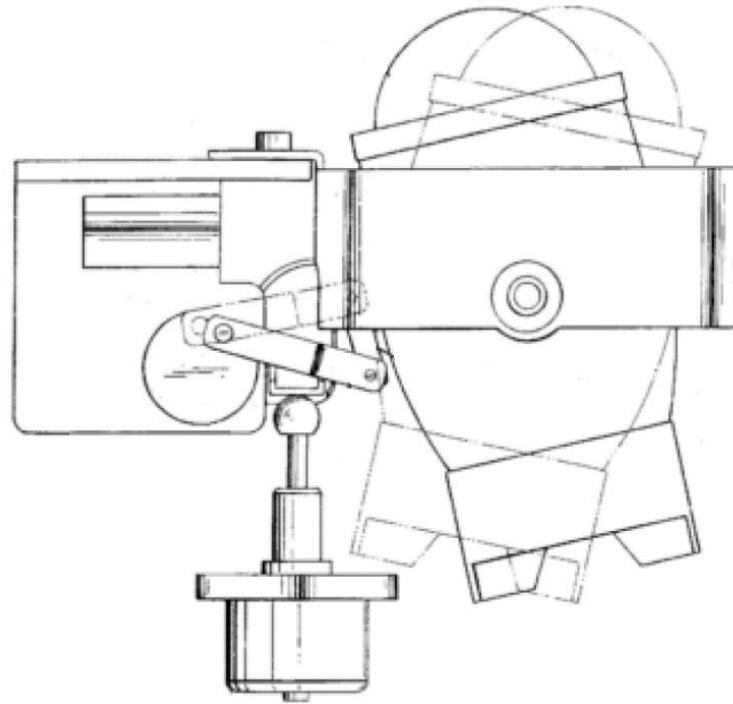


圖 2.3.5 可自行轉向頭燈控制垂直軸調整[26]

2.3.3 三軸式頭燈

三軸頭燈系統則具有翻滾軸調整功能，因此較適合應用於機車或具傾角特徵之車輛上。但由於三軸系統需三個致動器來做三維的運動，其不管是體積亦或是成本都過於龐大所以廠商會在功能上進行取捨及闡割，造成整個市面上無論汽車或摩托車都鮮少有三軸頭燈系統的設計。

2.3.4 矩陣式頭燈

矩陣頭燈系統的興起受惠於 LED 晶片技術門檻的突破，2009 年 Cree 宣佈 LED 光效可達 186 lm/W，2017 年更是高達 280 lm/W，對於頭燈照明來說迎刃有餘[09]。

矩陣頭燈系統是以 LED 作為主要照明設備，而 LED 呈陣列式分布，由於 LED 體積足夠小巧且具備發光效率高等優點，因此 Inaba[27]、Kang[28]、Lukacs[29]與 Rice[30]等人，均提出以 LED 作為車輛照明光源比鹵素燈或是 HID 更加節能等優點之論點，他們以使用數顆 LED 排列成幾何形狀，或是以單顆 LED 先透過透鏡光學設計後進行幾何形狀排列，最後組成固定光型，其目標在於以多個光源模組取代傳統頭燈單一光源，相關文獻實驗照片如圖 2.3.6 所示，光型則如圖 2.3.7 所示。



圖 2.3.6 適路性先進 LED 陣列頭燈[28]



圖 2.3.7 適路性先進 LED 陣列頭燈實際光型[28]

而國內關於矩陣頭燈系統的文獻有蕭耀榮[31]、鄭文欽[32]、歐育佳[33]、沈柏辰[34]與莊文仁[35]，而摩托車之適路性先進 LED 陣列頭燈如圖 2.3.8 所示。

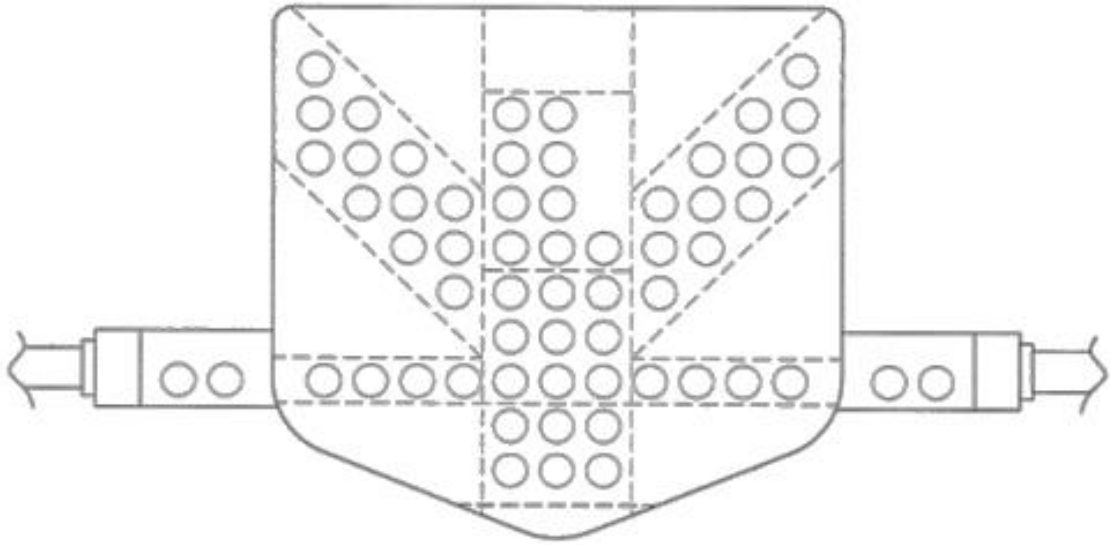


圖 2.3.8 適路性先進 LED 陣列機車頭燈[32]

矩陣系統優點在於響應快以及極高可靠度，不存在機械故障與保養週期，但缺點也顯而易見，受限於原始設計的角度使得無法完美匹配多變的車輛傾角及環境因素，因此在矩陣頭燈系統仍是汽車領域應用的比較多。

2.4 文獻總結

目前機車頭燈一般具有可控制之近燈、遠燈模式設計，當調整為近燈模式時可控制光線投射至前方較低位置，並可防止會車時造成對方因燈光刺眼影響視線，又當於能見度不佳場合時可調整為遠燈模式以增加光線投射範圍，並可提升清晰視線。機車轉彎車身傾斜時，容易使近光燈模式之遮光板角度隨之偏離正常水平角度，而造成車燈對人體肉眼過於刺眼，也容易造成對向行車或行人容易因刺眼狀態發生危險。自適應頭燈系統設計的應用下，能夠使機車轉彎車身傾斜時能夠將光型偏差的角度隨車輛動態恢復正常水平角、以不使車燈造成對向來車或是人體肉眼過於刺眼。廣泛的運用 LED 光源，能夠耐震盪等機械衝擊，使用壽命更長，且不因連續閃爍而影響其壽命，所需的供電能源更少，電能轉換成光能的能量轉換效率高，在安全的操作環境下可達到 10 萬小時的壽命，即便是在 50 度以上的高溫，使用壽命還有約 4 萬小時。因發光體積細小，因此便於光學設計與聚焦，而易於以透鏡等方式達致所需集散程度，藉改變其封裝外形，其發光角度由大角度散射至小角度聚焦都可以達成，在這資源有限的現代社會，自適應頭燈系統整體來說符合節能減碳，而部分文獻之設計，其裝置機構配置相當精巧優良，充分利用有效空間，達到最佳化與最符合經濟效益之成果。

然而眾多自適應頭燈系統設計仍有其進步的空間，運用單軸設計能應付車身變化姿態有限，單軸的設計僅能應付左右水平之車身姿態，無法提供更多車身變化姿態的負載，例如：若機車附載重物或是兩人雙載時，車身高度會有所改變，而單軸設計僅能提供左右水平調整，無法精準到位提供燈具光源上下之平衡調整，因此有可能會因車身高度有所改變，進而影響車燈對人體肉眼過於刺眼，或是對向行車或行人容易因刺眼狀態發生危險，或是在山路上因是爬坡車身姿態會有所改變，因此只運用單軸僅能提供燈具調整左右之平衡，若無法提供燈具光源上下平衡之調整，可能會影響到對向來車之交通安全影響，且無法應付機車爬坡時，所造成車身角度有所不同，所需要調整上下平衡角度最適當之光源角度，進而不影響其他車輛，這容易形成交通安全上的隱憂。

LED 光源須具有良好的散熱，若不能提供完善的散熱機制，效率受高溫影響而急劇下降，浪費電力之餘也產生更多熱，令溫度進一步上升，形成惡性循環，浪費電力也縮短壽命。部分文獻設計的散熱裝置僅有一片散熱塊，散熱效率有待探討。LED 光源面積小且分布較集中，作照明用途時會刺眼，須運用光學設計分散光源，因此在裝置設計上需投入更多的心力進行光學設計才能發揮 LED 完善的效果。部分文獻並無附加有遠燈功能，對於在光源不足或是在山路上需要提供遠距照明，遠燈功能擁有不可忽略的重要性，因此這也是可更加改進的方向。

3. 研究方法

3.1 研究架構

本研究之架構圖如圖 3.1.1 所示，首先說明自適應摩托車頭燈系統對於行車安全之重要性，接著進行國內外文獻之探討，依照參考文獻所提供的資料進行比較差異性分析，之後探討本研究摩托車動態模型，運用摩托車動態分析軟體 BikeSim，模擬摩托車行駛於各不同道路曲率半徑時車輛之變化角度，接著以不同車速與各種可能發生之道路狀況，進而得出頭燈系統應作調整的角度，之後根據摩托車動態模擬結果與分析，設計出最佳的控制策略。

此整合系統可隨著摩托車的車輛姿態如俯仰、側傾、轉彎和車速等動態，及各種道路環境，搭配九軸動態感測器與齒輪配重等搭配而改變頭燈系統照射方向，並將各部分硬體和軟體，包含將 LED 投射式頭燈、控制電路、感測器的訊號整合，還有穩壓電路以及各個驅動電路，完整的結合並且裝設到實際試驗平台上，並且在試驗平台上進行驗證與測試。此整合設計的考量是為了驗證自適應摩托車頭燈系統之優點，同時改善傳統摩托車頭燈所造成的，照明不足與死角盲點的問題，提升摩托車駕駛者與用路人的人身安全，進而避免交通事故的發生。研究步驟

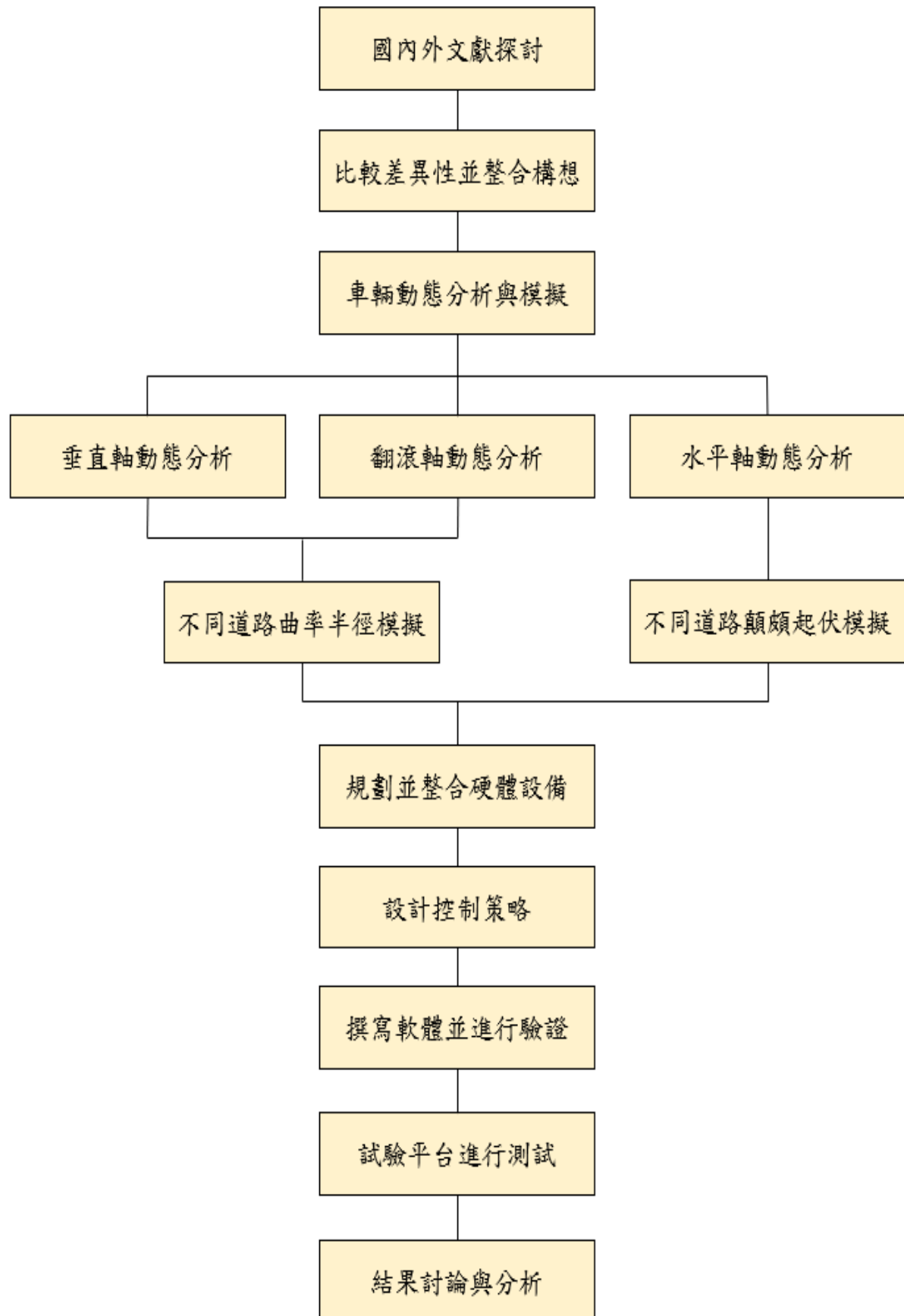


圖 3.1.1 研究之架構圖

3.2 研究工具

3.2.1 SOLIDWORKS 3D 設計軟體

本研究中的所有零件皆使用 SolidWorks 進行繪製建模，首先進行投射式頭燈模組 (KOITO DM008) 之逆向工程，準確描繪出光源模組各個零件之 3D 立體零件圖，最後以組零件形式結合為投射式頭燈模組組零件，如圖 3.2.1 所示，並以此做為參考主軸，接續繪製出各個機構、馬達與反射鏡，以利後續 3D 列印以及光學模擬使用。

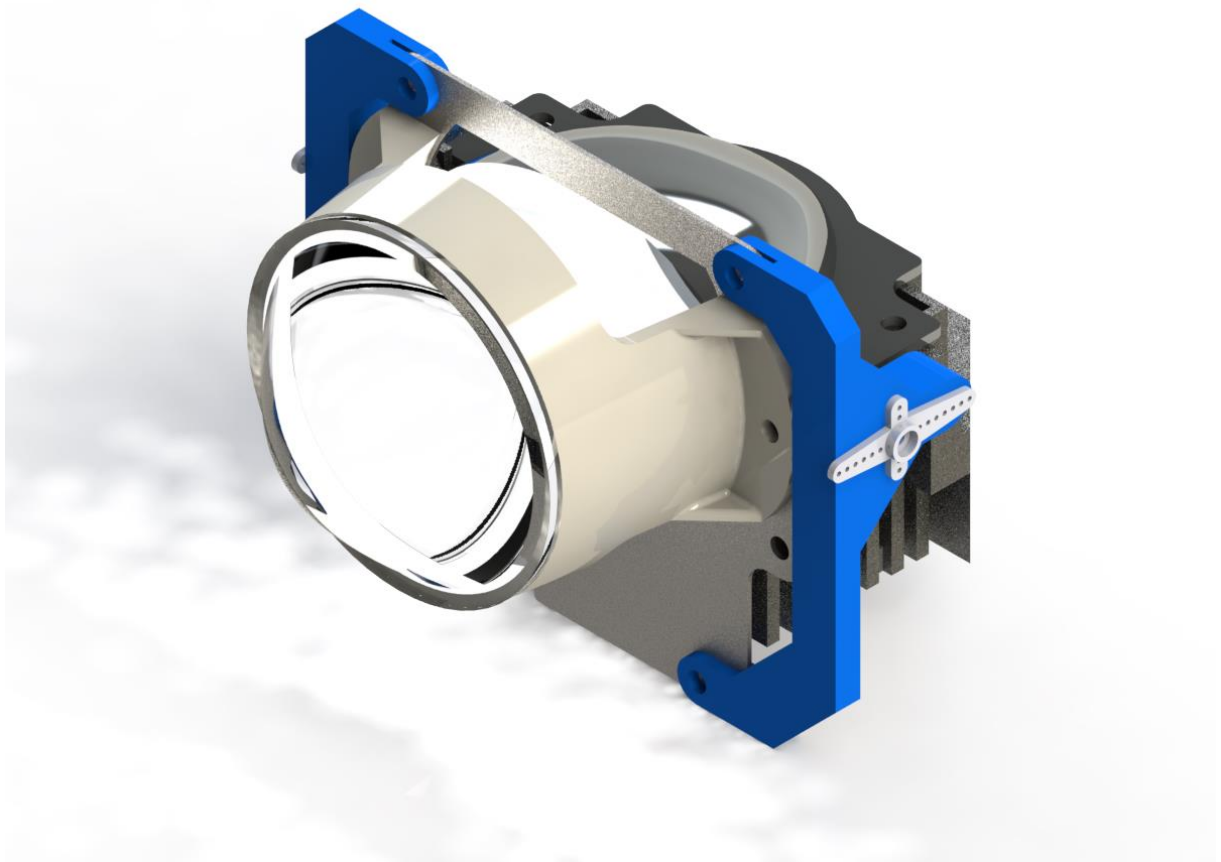


圖 3.2.1 投射式頭燈模組組合圖

所有須 3D 列印之零組件，則需另位轉換為標準三角語言 STL(Standard Triangle Language)檔，再另外以 CURA 切片應用程序進行參數調教等候處理，而本研究則因電腦使用效率因素，因此切片調教完成後採用脫機程序進行印製，材料方面則選用具有良好的機械和加工性能，且相較其他產品更為環保的聚乳酸 PLA(Polylactic Acid)，而 PLA 產品廢棄後又可以通過各種方式快速降解，因此做為本研究之快速原型材料。

3.2.2 BikeSim 機踏車模擬分析軟體

本研究使用摩托車動態分析軟體 BikeSim，如圖 3.2.2 所示。此動態分析軟體提供完整且可靠的摩托車數學模型與參數，根據蕭耀榮、沈柏辰與鄭文欽[31, 32, 34]等人之

文獻指出，可藉由此套動態分析軟體之功能，可設定騎士、車輛、懸吊阻尼、剎車、引擎、輪胎、地面磨擦等環境變數，同時也建有各種數學模型提供使用者來選用並對車輛進行實時分析，此軟體亦可模擬出各式各樣的道路路面狀況(例如路面坑洞、減速墊、轉彎路徑等)設定參數輸入到軟體，藉此更貼近實際道路所遇到的各種環境，進而可最真切模擬出車輛各部位或動態之運動狀態。另外亦可結合數值分析軟體來控制複雜的數學模型，搭配 LabVIEW 軟體使其同步顯示控制面板，並且同時輸出模擬動態畫面，讓使用者更清楚了解車子實際運動狀態。

本研究為重力式二軸三維摩托車頭燈系統的研發，在查閱先前研究文獻及相關資料後，選擇台灣道路上最常見的速克達摩托車作為模擬的車輛模型，如圖 3.2.3 模擬選用之車輛模型所示，其相關參數之設定，也盡可能符合實際操作情況，相關模擬參數如表 3.2.1 所示。

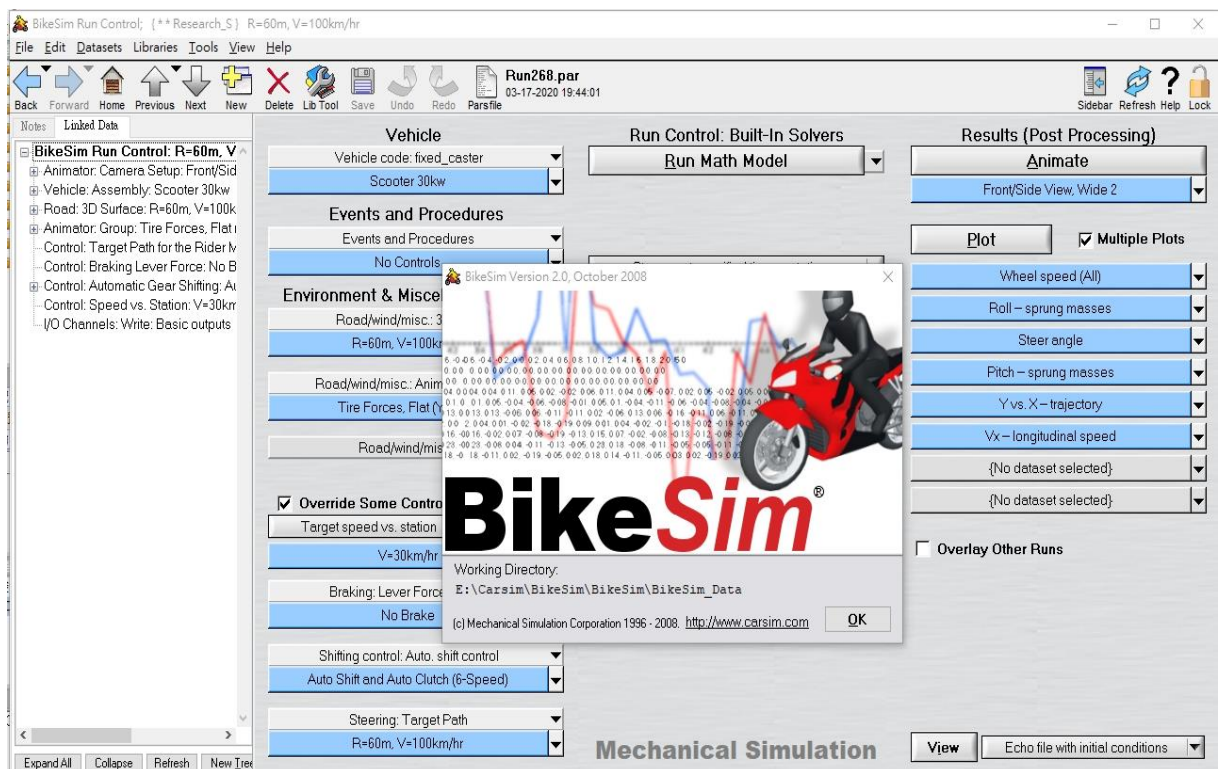


圖 3.2.2 摩托車動態分析軟體 BikeSim

3.2.3 照明系統設計模擬軟體 LightTools

光學模擬部分採用思渤科技(CYBERNET SYSTEMS TAIWAN Co. Ltd)所代理之軟體，如所示，此軟體提供一個準確可靠的照明光學模擬平台，其具備互動式 3D 實體建模環境，透過類似 CAD 等專業繪圖軟體的完整互動圖形介面進行模擬、設計與分析，甚至可透過執行 SolidWorks Link 模組，直接將 SolidWorks 之圖檔直接匯入進行操作，極為方便且容易學習，使用者能夠透過實體的模型，並且以符合物理原理的方式追跡各種光學路徑，快速分析光學系統並進行研究，協助尋找設計方向與研究光學行為，使研究進入加工程序前即可發現和解決潛在可能發生的問題。

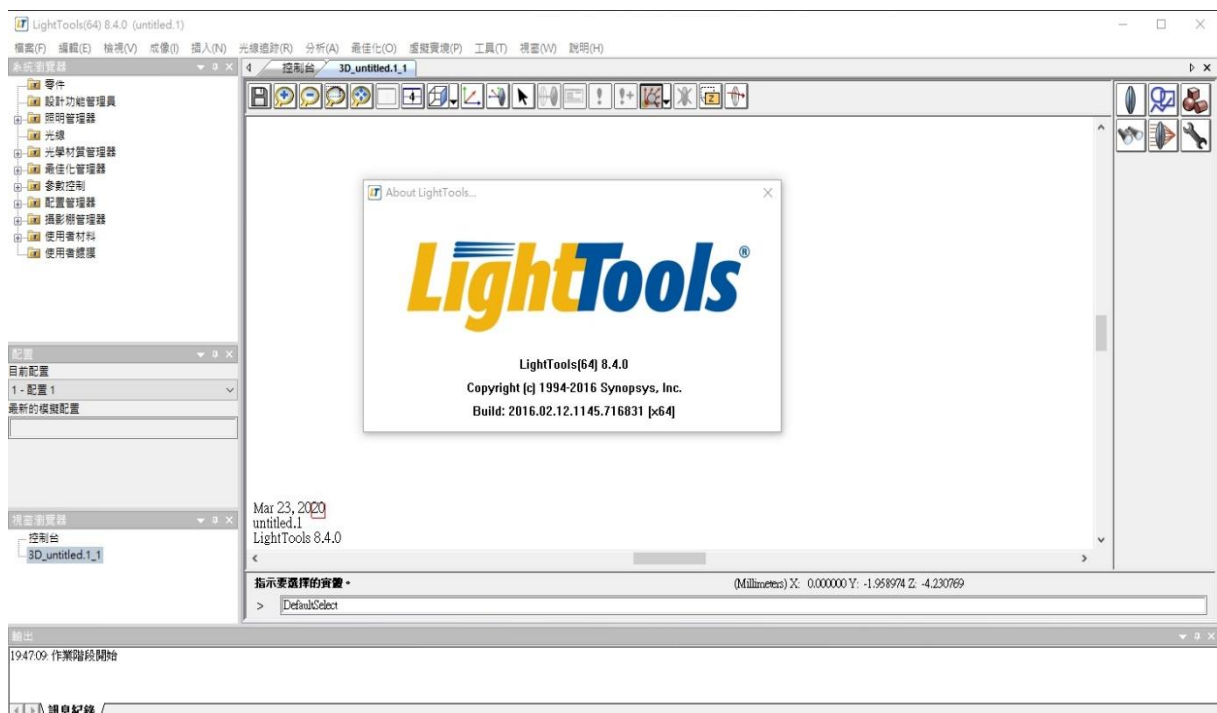


圖 3.2.4 照明系統設計模擬軟體 LightTools

本研究利用照明模組(Illumination Module)實現蒙特卡羅方法(Monte Carlo method)光線追跡，以隨機模擬光線的方法，以概率和統計理論方法為基礎，以獲得光線的近似解，作為象徵性地表達目標光學路徑之特徵。在系統建模方面，可直接導入 SolidWorks 之組合圖，如圖 3.2.5 所示，並重新設定其詳細光學參數，以實現複雜之幾何結構，最後進行光線追跡，如圖 3.2.6 所示，將光學追跡模擬結果量化成數值並以散射圖方式展現，如所示，以便進行光型分析與法規比對。

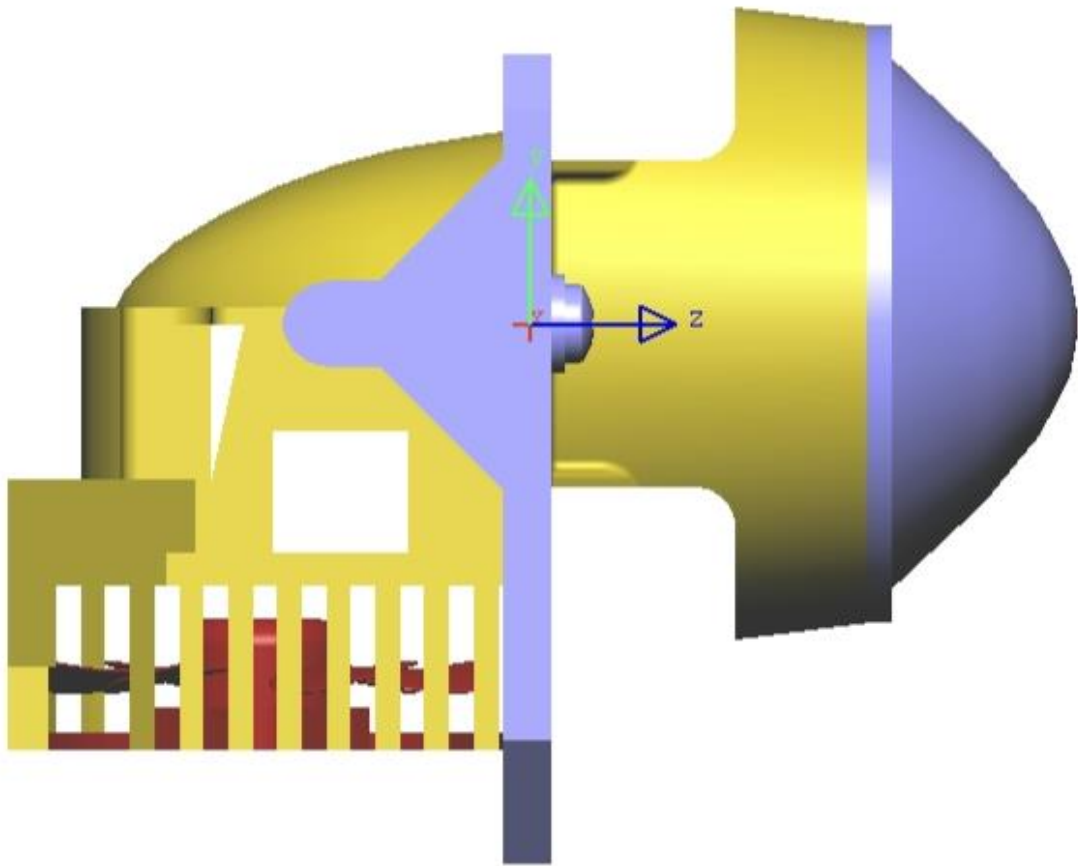


圖 3.2.5 導入 LightTools 之投射式頭燈

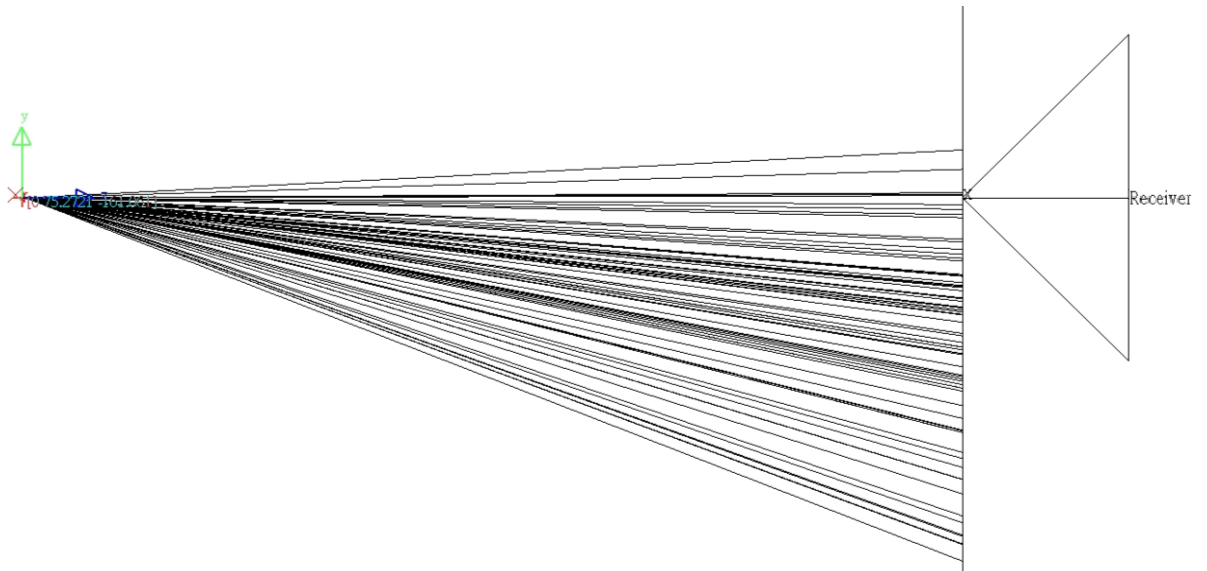


圖 3.2.6 投射式頭燈光源光線追跡

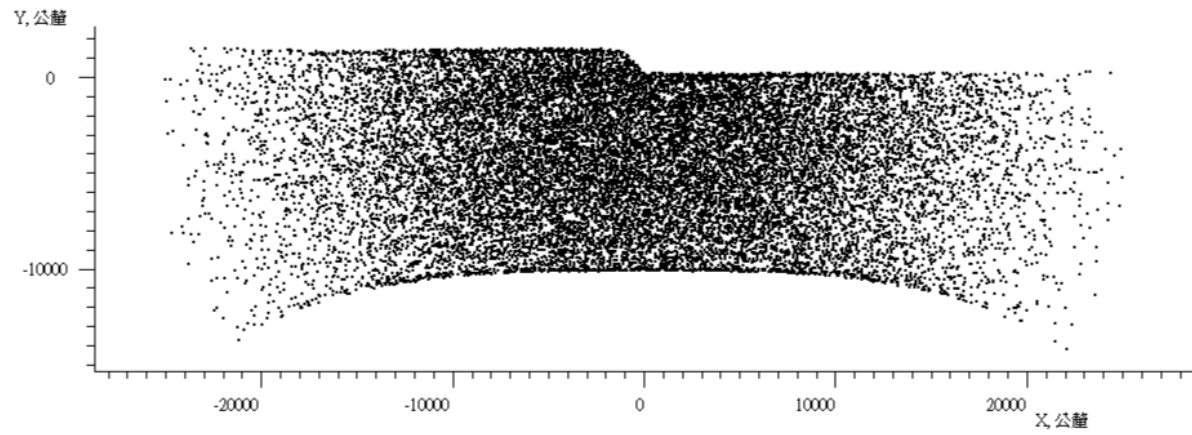


圖 3.2.7 光線追跡後於接收器平面上之散射圖

4. 摩托車行駛於直線之動態模擬

4.1 車身姿態改變與頭燈調整角度之關係

當摩托車因為加減速、路況變化或是負重改變，而車身姿態產生不同變化，如所示，進而影響原始車輛燈具設計，這些影響皆會造成視距的縮短或是燈具直射對向車道，造成交通事故的發生。

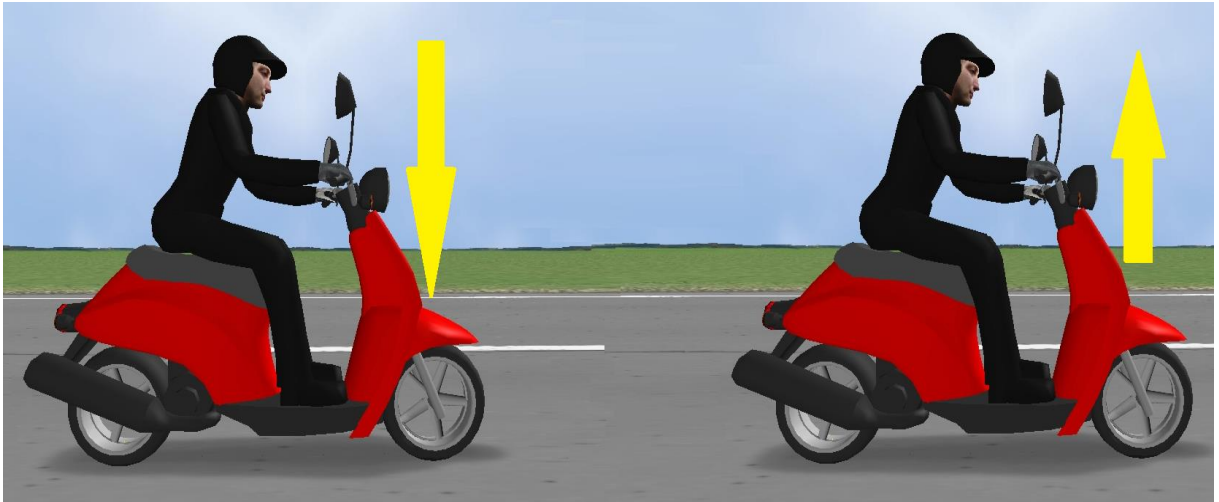


圖 4.1.1 車輛姿態發生改變示意圖

本研究建立一數學模型，以描述摩托車機械系統，藉由模擬分析，可得知模型系統性能，透過建立系統的震動數學模型得出系統性能，根據 Cossalter, Vittore[36]與鄭文欽[32]等人之書籍與研究，可以將摩托車之機械系統簡化為五自由度模型，然而此模型需做以下假設：

1. 將立體橫向震動簡化，使其模型為一平面振動問題。
2. 忽略車輛引擎震動，並將車輛本體視為具集中質量之剛體。
3. 將摩托車駕駛員之質量視為一具集中質量之剛體。
4. 簡化車輪之力學特性為彈簧特性，組尼特性不予計算。
5. 假設懸吊、輪胎之彈性力與減震筒之阻尼分別為位移與速度的一次函數。

在上述假設基礎下，建立摩托車之舞自由度震動模型，如所示。

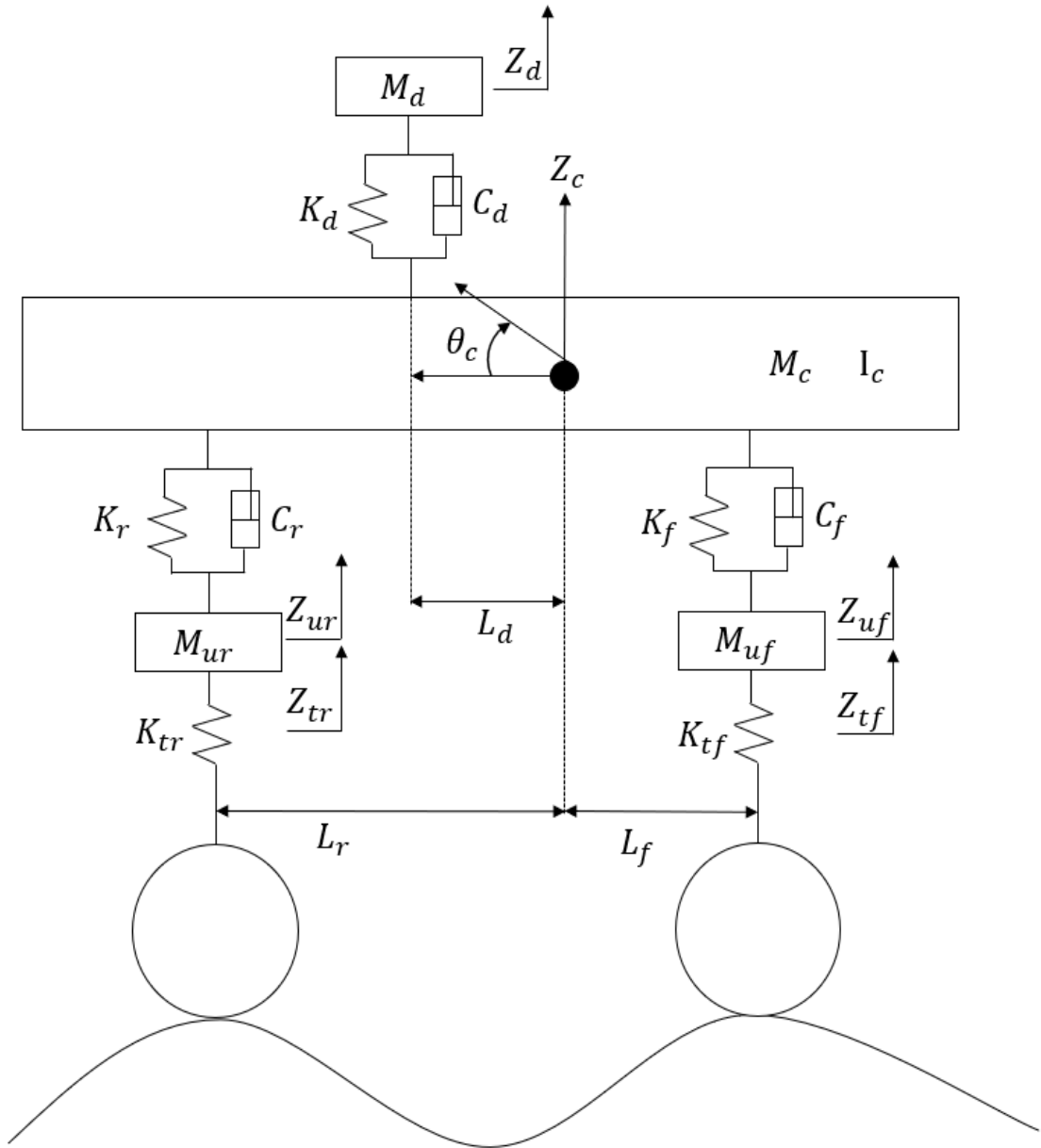


圖 4.1.2 摩托車五自由度震動模型

當 θ_c 角度很小時，則：

$$\sin \theta_c \approx \theta_c \tag{1}$$

$$\cos \theta_c \approx 1 \tag{2}$$

由牛頓第二運動定律與靜力平衡原理可得出以下運動方程式：

$$\sum F = ma \tag{3}$$

$$\sum F = I\alpha \tag{4}$$

摩托車駕駛員與椅墊之系統運動方程式則表示為：

$$M_d \ddot{Z}_d = -K_d(Z_d - Z_c - \theta_c L_d) - C_d(\dot{Z}_d - \dot{Z}_c - \dot{\theta}_c L_d) \quad (5)$$

前輪彈簧下質量之運動方程式則表示為：

$$M_{uf} \ddot{Z}_{uf} = -K_f(Z_c - Z_{uf} - \theta_c L_f) - C_f(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{uf} - \dot{\theta}_c L_f) - K_{tf}(Z_{uf} - Z_{tf}) \quad (6)$$

而後輪彈簧下質量之運動方程式則表示為：

$$M_{ur} \ddot{Z}_{ur} = -K_r(Z_c - Z_{ur} + \theta_c L_f) - C_r(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{ur} + \dot{\theta}_c L_f) - K_{tr}(Z_{ur} - Z_{tr}) \quad (7)$$

摩托車上下動態之運動方程式則表示為：

$$M_c \ddot{Z}_c = K_d(Z_d - Z_c - \theta_c L_d) - C_d(\dot{Z}_d - \dot{Z}_c - \dot{\theta}_c L_d) - K_f(Z_c - Z_{uf} - \theta_c L_f) - C_f(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{uf} - \dot{\theta}_c L_f) - K_r(Z_c - Z_{ur} + \theta_c L_f) - C_r(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{ur} + \dot{\theta}_c L_f) \quad (8)$$

摩托車前後俯仰角動態之運動方程式則表示為：

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_c = \frac{1}{I_c} [& K_d(Z_d - Z_c - \theta_c L_d) + C_d(\dot{Z}_d - \dot{Z}_c - \dot{\theta}_c L_d) + K_f L_f(Z_c - Z_{uf} - \theta_c L_f) \\ & + C_f L_f(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{uf} - \dot{\theta}_c L_f) - K_r L_f(Z_c - Z_{ur} + \theta_c L_f) \\ & - C_r L_f(\dot{Z}_c - \dot{Z}_{ur} + \dot{\theta}_c L_f)] \end{aligned} \quad (8)$$

由式 8 即可得知摩托車在出現前後俯仰姿態改變時，頭燈俯仰角應調整角度，但由於電腦技術的進步與電腦算力的增長，伴隨而來摩托車動態分析軟體的成熟，使得摩托車動態模擬發生重要的革新，無論是在模型的建立或是計算方式，現代的摩托車動態分析軟體將把摩托車視為多個相互連接，彼此能夠相互運動的相連多體系統，其運動學和動力學模擬比以往利用圖解數學模型更為準確，且較能符合真實情況，故本研究採用摩托車動態分析軟體去模擬摩托車行駛時頭燈的動態，透過軟體模擬分析的方式，求得頭燈上下轉角應調整角度。

4.2 車速改變對頭燈調整角度之影響

根據研究顯示當摩托車在道路上騎乘時，隨著車輛行駛速度提高的同時，駕駛的注視點會往前移，對道路兩側的觀察範圍會縮小，進而駕駛的視力與視野寬度也會跟著降低與縮小[37, 38]，其關係如圖 4.2.1 所示，這就是視野窄化，因此為爭取駕駛的反應時間，並且增加頭燈有效照明範圍，因此在車速提高時向上調整摩托車頭燈的照射角度。

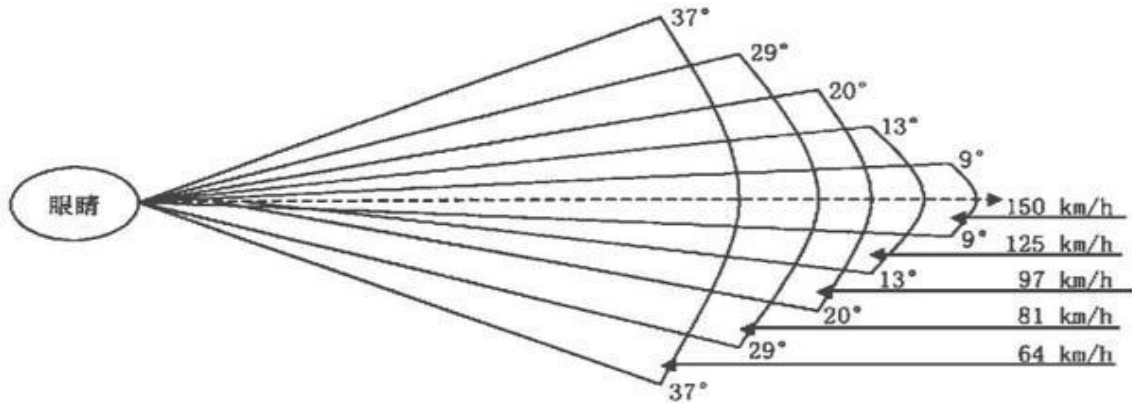


圖 4.2.1 車速與視野寬度關係圖

摩托車頭燈向上調整的角度可依據摩托車安全距離來推估，根據日本本田安全運轉

普及本部的研究資料顯示[39]，車輛煞車距離等於反應距離加上煞車距離，其總煞車距離過程如所示。

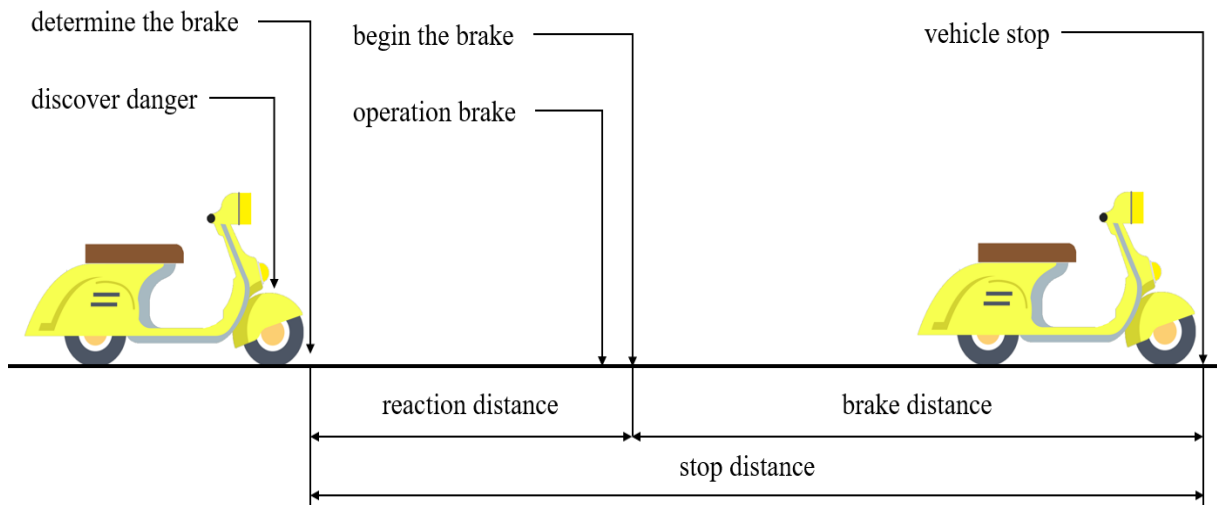


圖 4.2.2 摩托車制車過程示意圖

反應距離計算公式表示為：

$$S_r = Vt \quad (9)$$

煞車距離計算公式表示為：

$$S_b = \frac{V^2}{2gu} \quad (10)$$

總煞車距離公式則表示為：

$$S_{all} = \frac{V^2}{2gu} + Vt \quad (11)$$

頭燈基本投射距離可依據歐洲頭燈法規 ECE R113 得知為 25m[14]，而根據研究顯示，一般正常人反應時間為 1sec[39]，且乾燥柏油路面摩擦係數 u 為 0.8[40]，而重力加速度 g 以 9.8 代入式 11，即可得出歐洲頭燈法規參考之基本車速為 48.27 km/hr，因此當車速低於基本車速時，頭燈俯仰角之角度無須進行調整，而車速高於基本車速，才需要調整摩托車頭燈俯仰角之角度。而由上述公式亦可推估出摩托車在各車速時所需之總煞車距離，如表 4.2.1 所示。

表 4.2.1 摩托車制車之安全距離表

摩托車各車速之制車安全距離			
	反應距離(m)	制車距離(m)	總煞車距離(m)
30km/hr	8.33	4.43	12.76
40km/hr	11.11	7.87	18.98
50km/hr	13.89	12.3	26.19
60km/hr	16.67	17.72	34.38

70km/hr	19.44	24.11	43.56
80km/hr	22.22	31.49	53.72
90km/hr	25	39.86	64.86

由上述數據整理為圖表，如圖 4.2.3 所示，可發現時速為 56.448km/hr 時，可發現剎車距離曲線與反應距離曲線出現交叉，並且逐漸擴大差距，由於輪胎選用與路面摩擦係數非本研究之重點，因此在可控制選項中，儘可能降低反應距離，由式 9 可知反應距離為車速與反應時間之乘積，車速在本研究中亦為不可控因素，因此只能擴大視距，以降低反應時間，留與駕駛從容應對的時間。

摩托車各車速之剎車安全距離

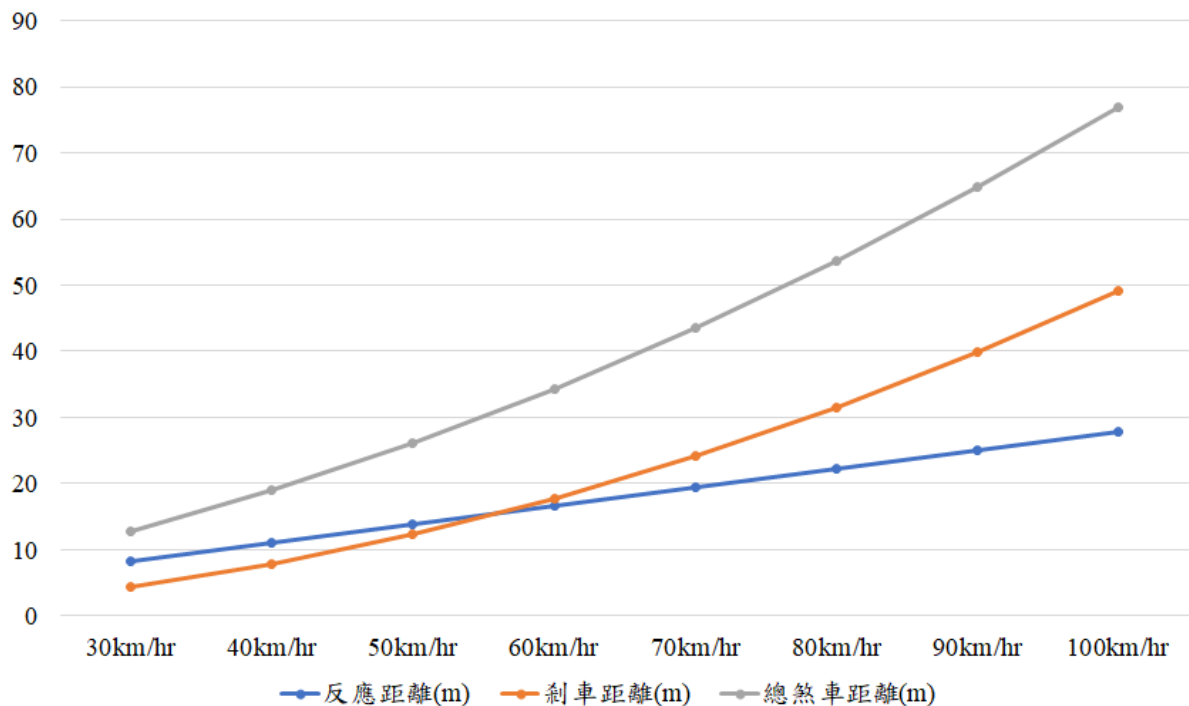


圖 4.2.3 摩托車各車速之剎車安全距離比較圖

摩托車頭燈投射角度之幾何關係如圖 4.2.4 所示，已知車速 V 代入式 11 即可求出安全煞車距離 S_{all} ，再由頭燈高度 h 和基本頭燈投射距離 S_1 代入式 12 及式 13 即可求出 θ_1 及 θ_3 ，並且可由式 14 求出頭燈俯仰角調整角度 θ_2 。

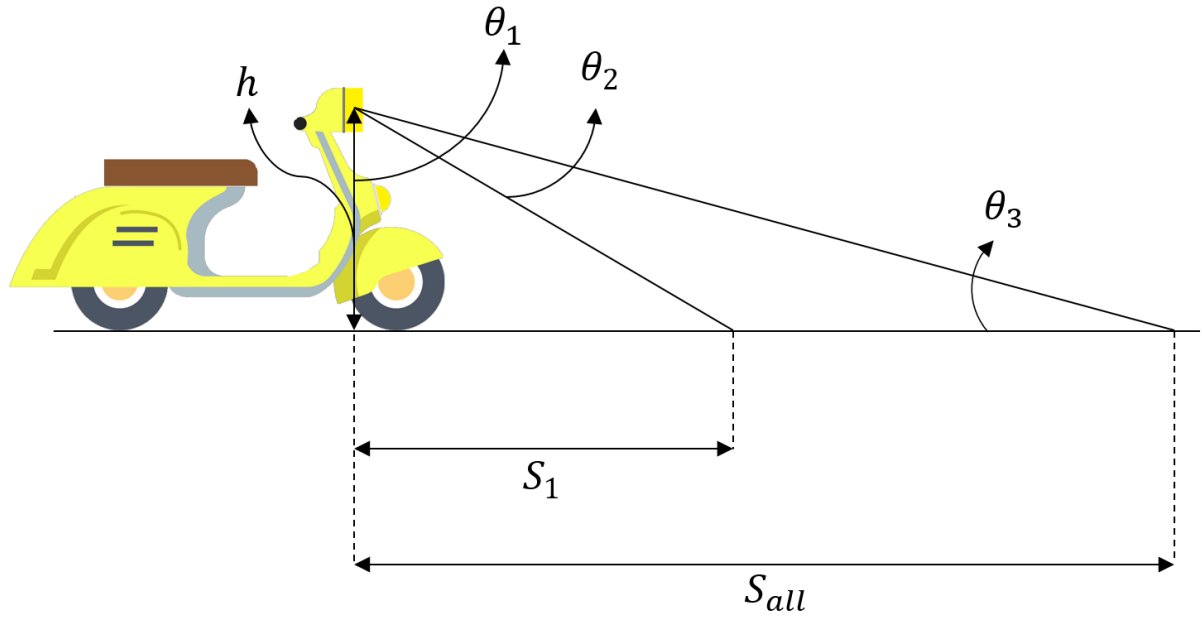


圖 4.2.4 摩托車頭燈照射角度幾何關係式意圖

由基本三角函數可知

$$\tan\theta_1 = \frac{S_1}{h} \quad (12)$$

$$\tan\theta_3 = \frac{h}{S_{all}} \quad (13)$$

整理過後可得

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{S_1}{h}\right) \quad (14)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{h}{S_{all}}\right) \quad (15)$$

摩托車車速改變時頭燈俯仰角調整角度

$$\theta_2 = 90^\circ - \theta_1 - \theta_3 \quad (16)$$

以車速 $V = 60\text{km/hr}$ 為例，由表 4.2.1 可查得煞車安全距離為 34.38m，已知摩托車頭燈高度 $h = 1.5\text{m}$ ，基本頭燈照射距 $S_1 = 25\text{m}$ ，代入式 14 及式 15 可得 $\theta_1 = 86.57^\circ$ 及 $\theta_3 = 2.5^\circ$ ，再代入式 16 可得頭燈俯仰角調整角度 $\theta_2 = 0.94^\circ$ ，代表頭燈應向上調整 0.94° 以達最佳照明位置，詳細各車速下對應頭燈俯仰角調整角度如圖 4.2.5 所示。

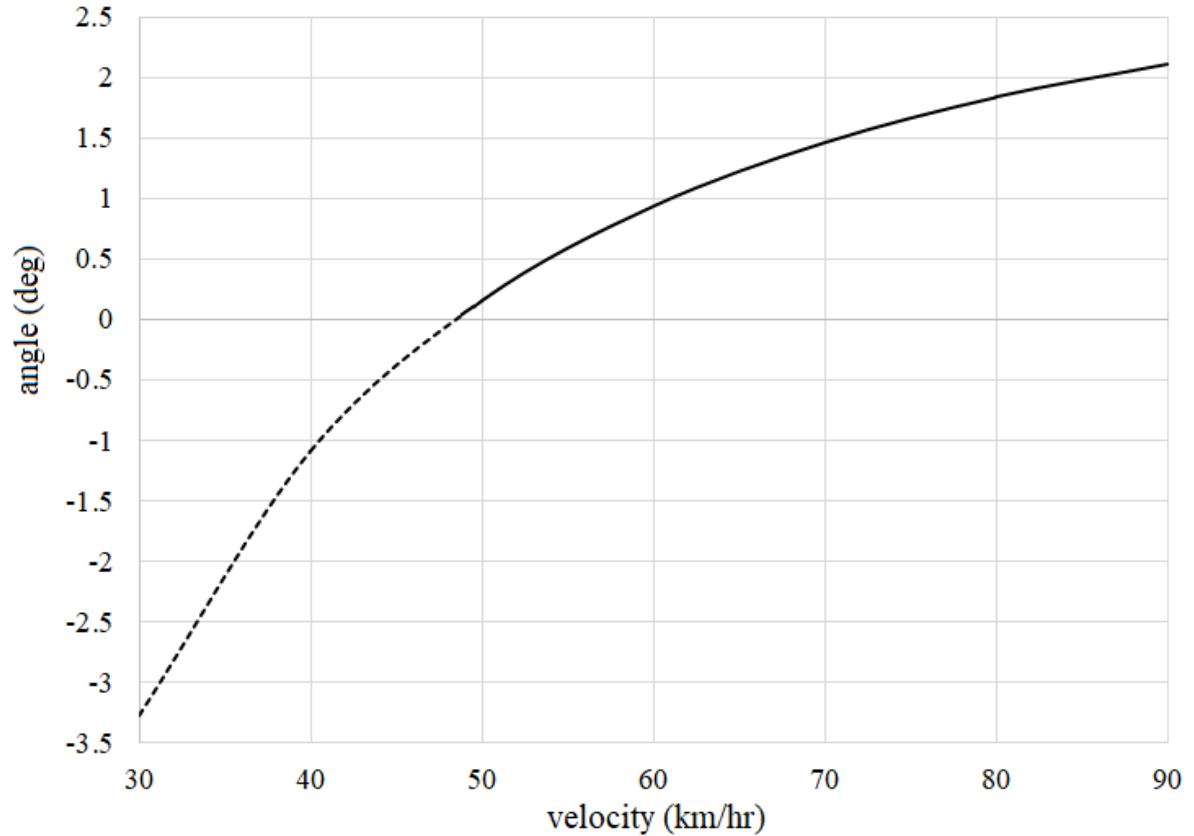


圖 4.2.5 各車速下對應頭燈俯仰角調整角度

4.3 頭燈俯仰角動態模擬及控制策略

本研究採用摩托車動態分析軟體，以模擬摩托車行駛於一般道路常見之路況，模擬的路況分別包含凹陷路面（深度達 5cm）、橡膠減速腫（高度達 5cm）和減速丘（高度達 10cm）[41]，如圖 4.3.1 及圖 4.3.2 所示，由於國內法規對減速腫與減速丘並無實質上的規範，造成在環境與減速裝置規格繁多，因此模擬條件以最極端值為例，量測其近光燈光束照射點部位所產生的上下位移，再對此量測之位移進行快速傅立葉變換（FFT, Fast Fourier Transform）頻率分析，藉此找出頭燈在此狀況下所需的截止頻率，由截止頻率設計出一低通濾波器，再由低通濾波器來抑制不必要的高頻調整，減少駕駛視覺負擔及致動器因高頻作動而產生故障可能性，進而達到主動式機車頭系統動態調整。

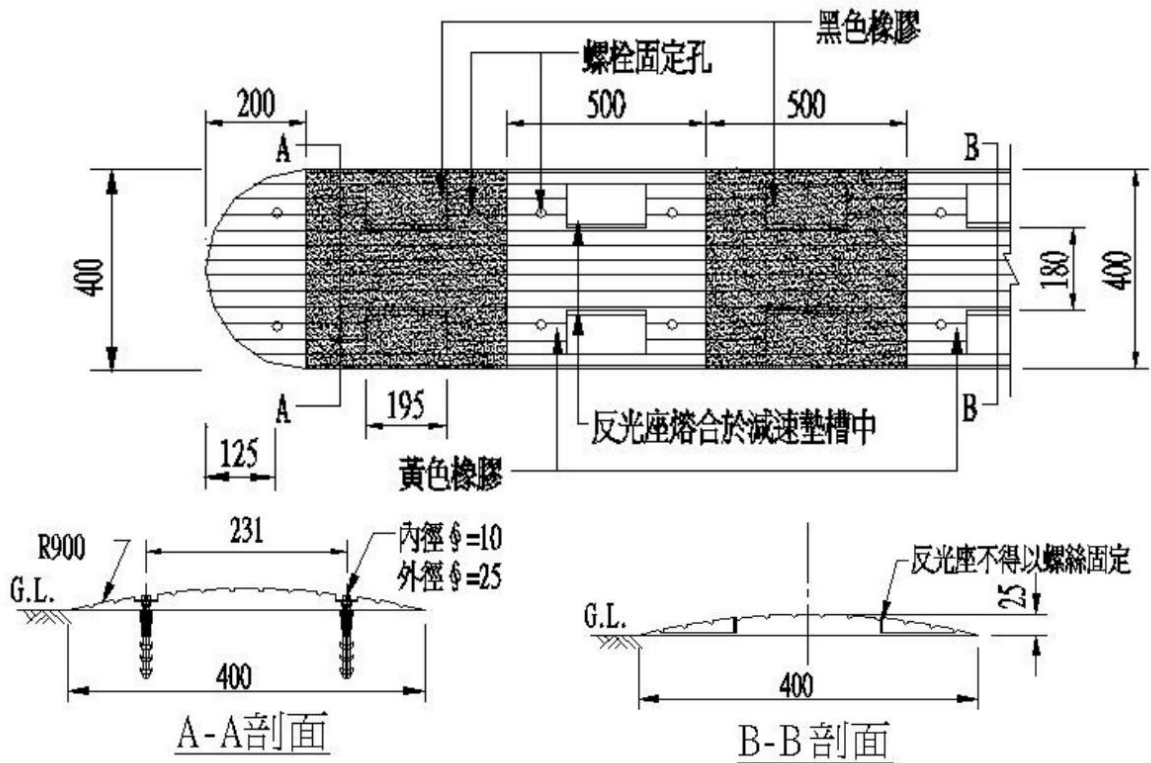


圖 4.3.1 減速腫規格示意圖

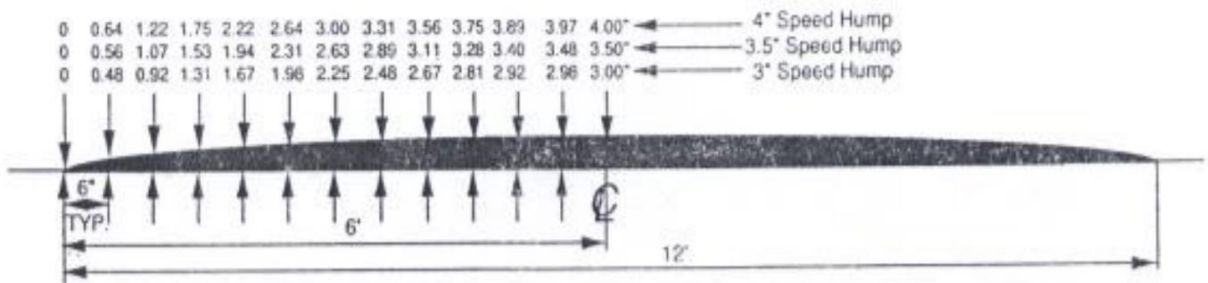


圖 4.3.2 減速丘規格示意圖

4.3.1 路面模型

本研究採用三種常見路面已進行模擬，包含凹陷路面、橡膠減速腫和減速丘，首先於摩托車動態模擬軟體內規劃一直線，由於模擬於起始瞬間車輛數據無法達穩態，因此在遭遇特殊路面前需一段平坦直路面供車輛數據達穩態，以利後續特殊路面的觀察。

在凹陷路面部分，首先設置一平坦直路面為啟始路段，長度為 100m，接著於環境變數中設定一長 30cm、寬 20cm、深 5cm 之凹陷路面，參數設置如圖 4.3.3 所示，並且以黑色進行上色以便區分，最後再設置一平坦直路面為終點路段，長度為 100m，並於雜

項中擺放三角錐，擺放位置為起點、特殊路面及終點之道路兩旁，整體模型如圖 4.3.4 所示。

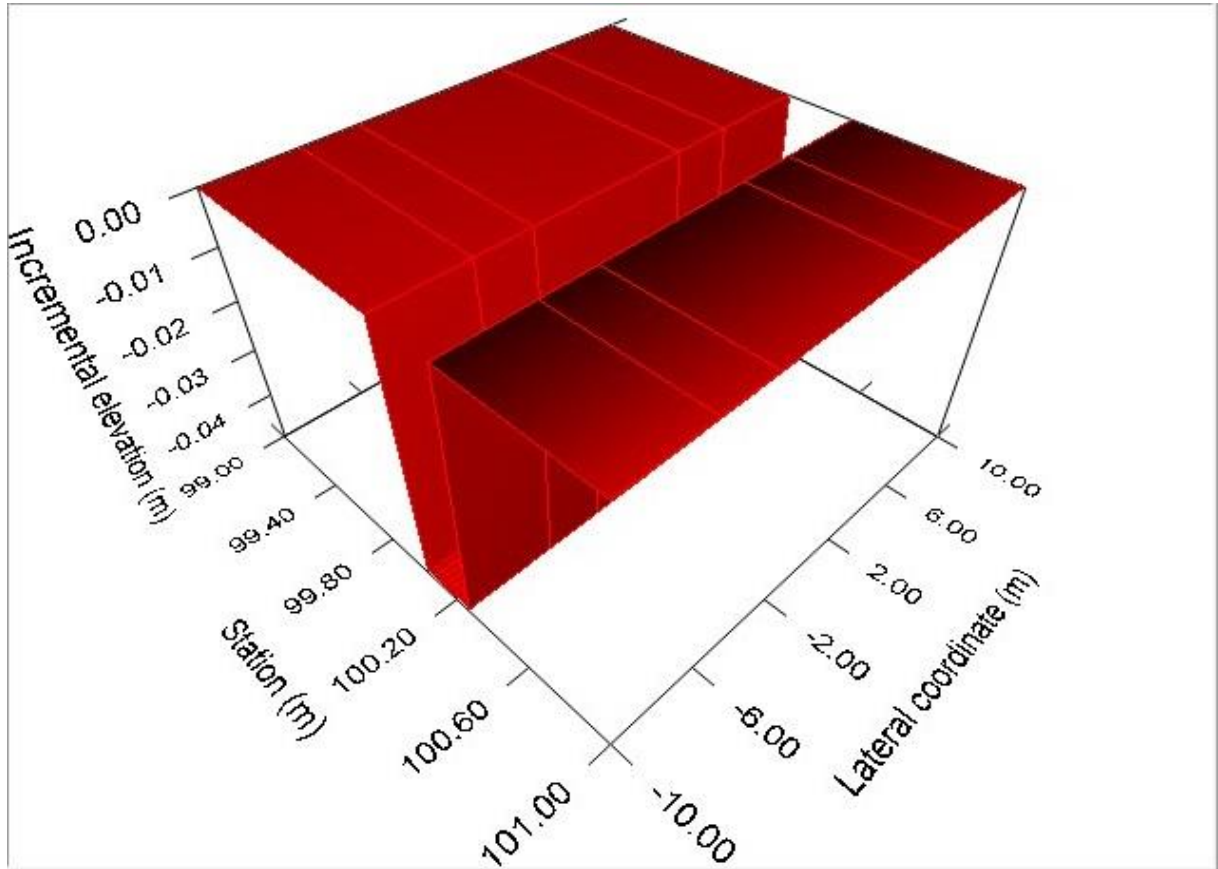


圖 4.3.3 凹陷路面參數設置

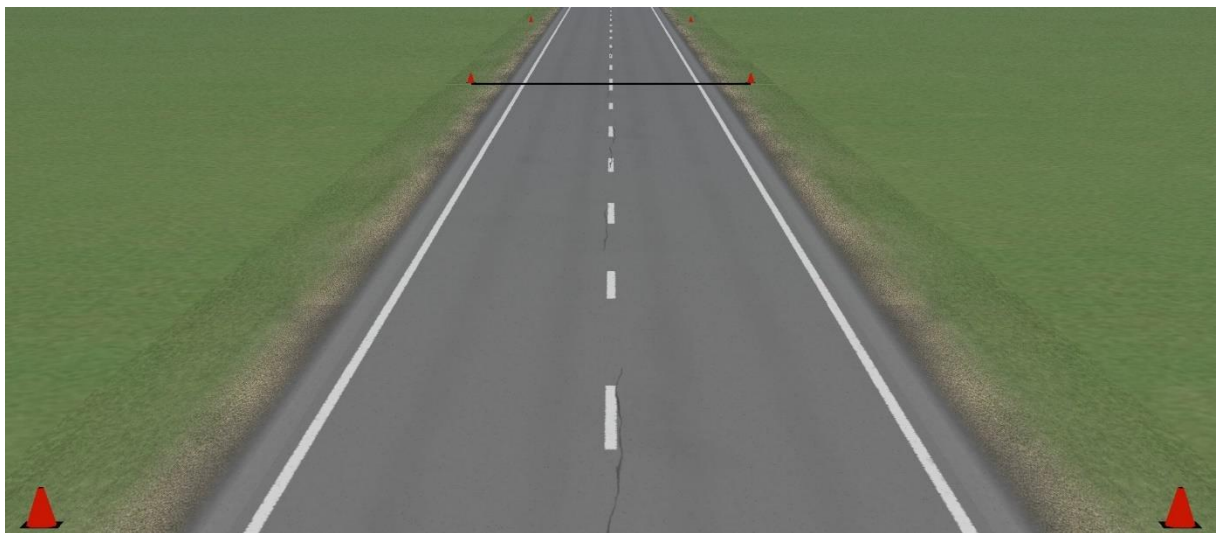


圖 4.3.4 凹陷路面模型整體示意圖

在減速腫部分，首先設置一平坦直路面為啟始路段，長度為 100m，接著於環境變數中設定一長 30cm、寬 20cm、高 5cm 之減速腫，參數設置如圖 4.3.5 所示，並且以黃色

進行上色以便區分，最後再設置一平坦直路面為終點路段，長度為 100m，並於雜項中擺放三角錐，擺放位置為起點、減速腫位置及終點之道路兩旁，整體模型如圖 4.3.6 所示。

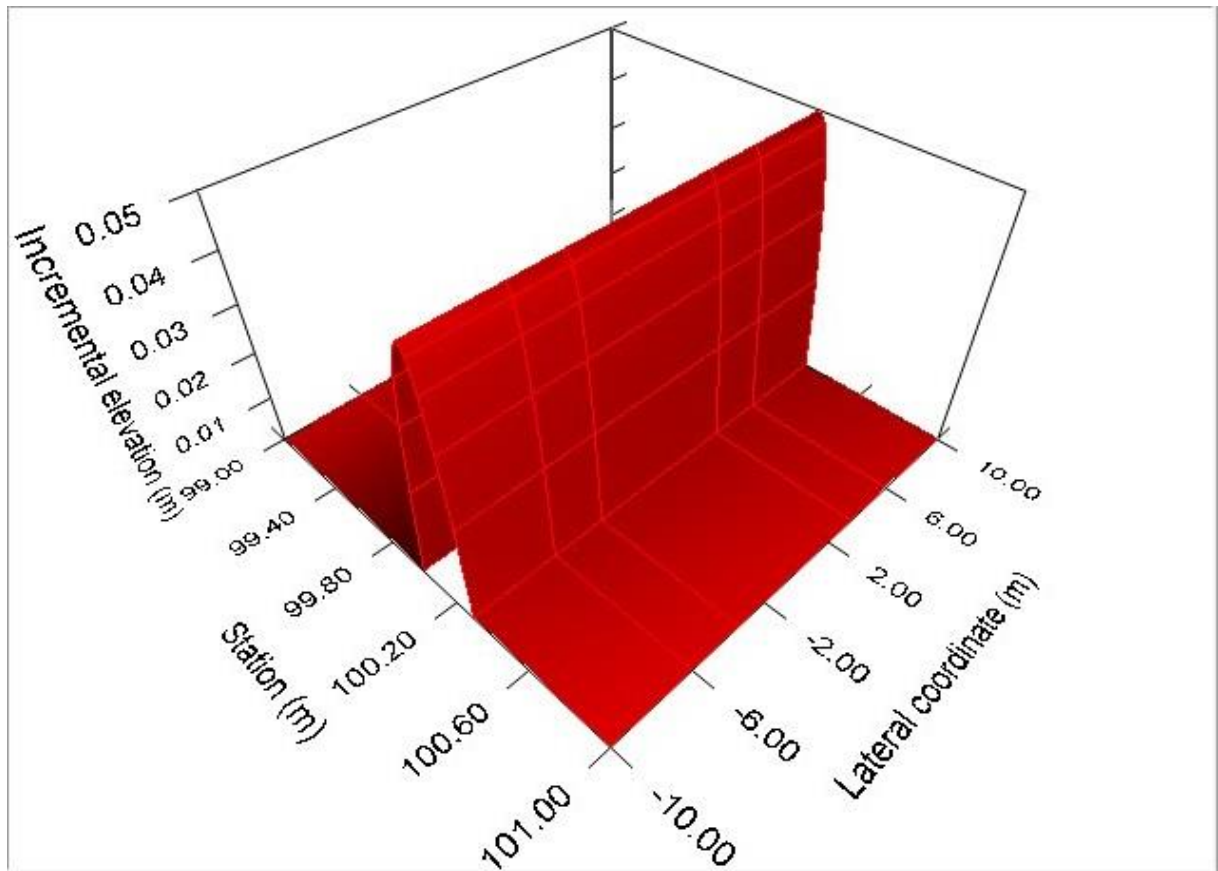


圖 4.3.5 減速腫路面參數設置

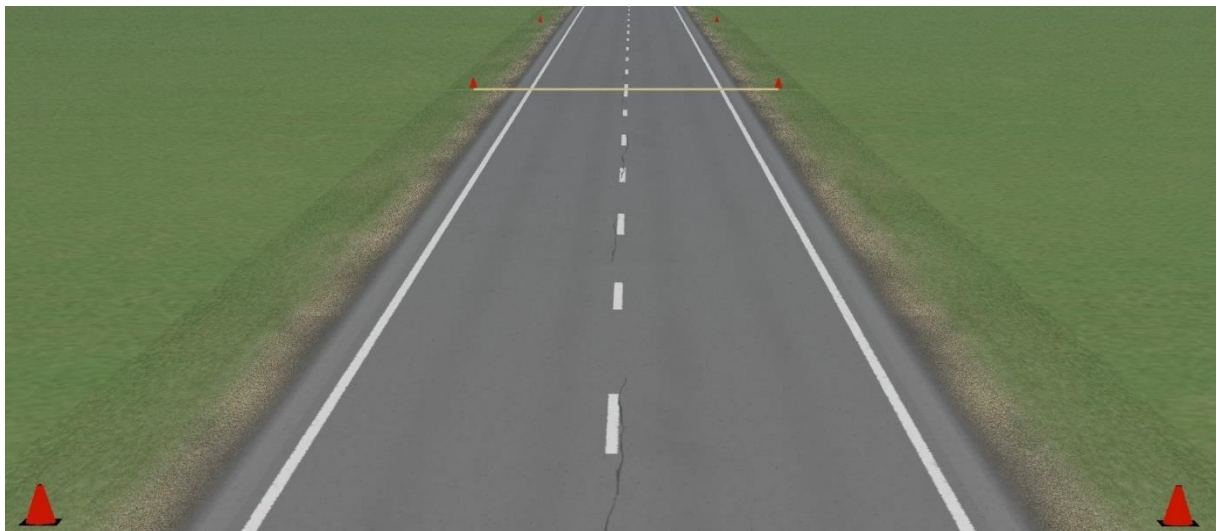


圖 4.3.6 減速腫路面模型整體示意圖

在減速丘部分，首先設置一平坦直路面為啟始路段，長度為 100m，接著於環境變數

中設定一長 30cm、寬 20cm、高 10cm 之減速丘，參數設置如圖 4.3.7 所示，並且以紅色進行上色以便區分，最後再設置一平坦直路面為終點路段，長度為 100m，並於雜項中擺放三角錐，擺放位置為起點、減速丘位置及終點之道路兩旁，整體模型如圖 4.3.8 所示。

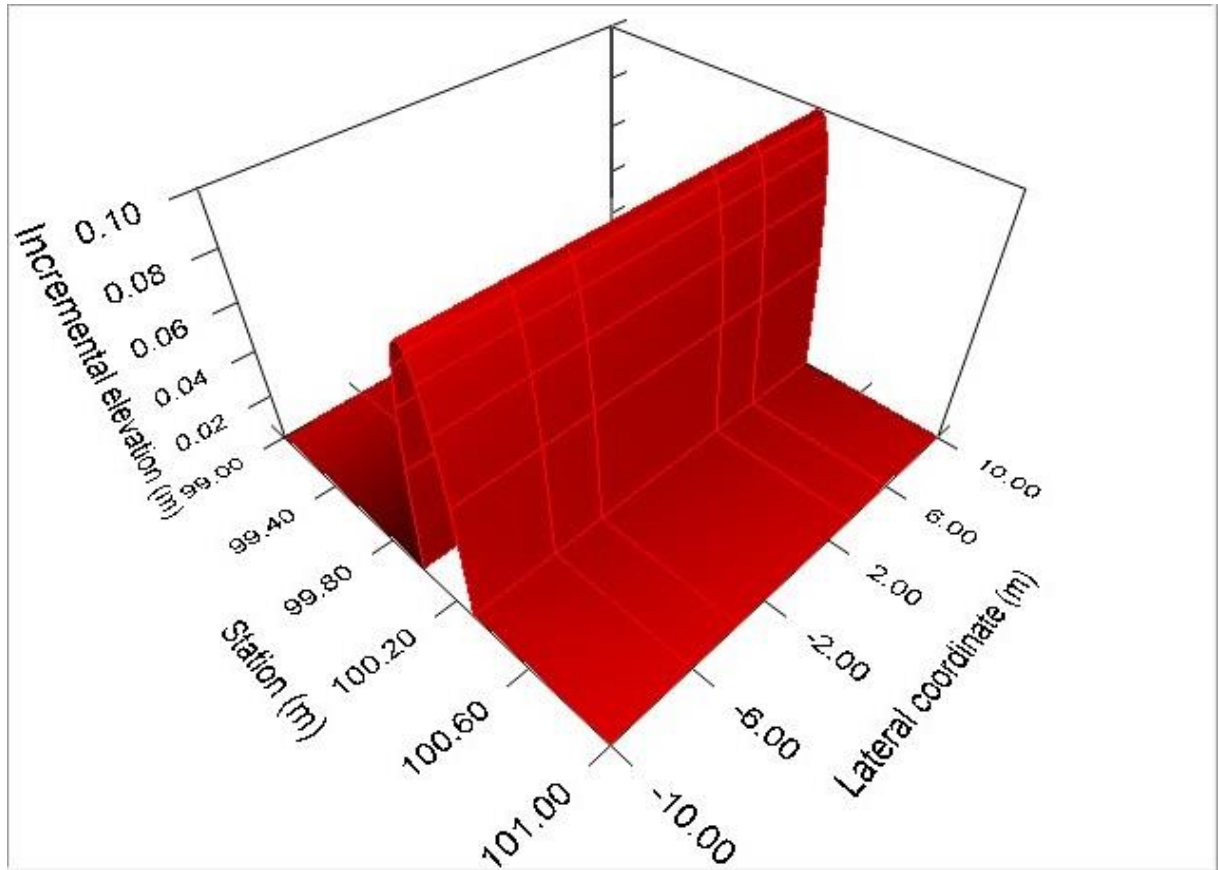


圖 4.3.7 減速丘路面參數設置

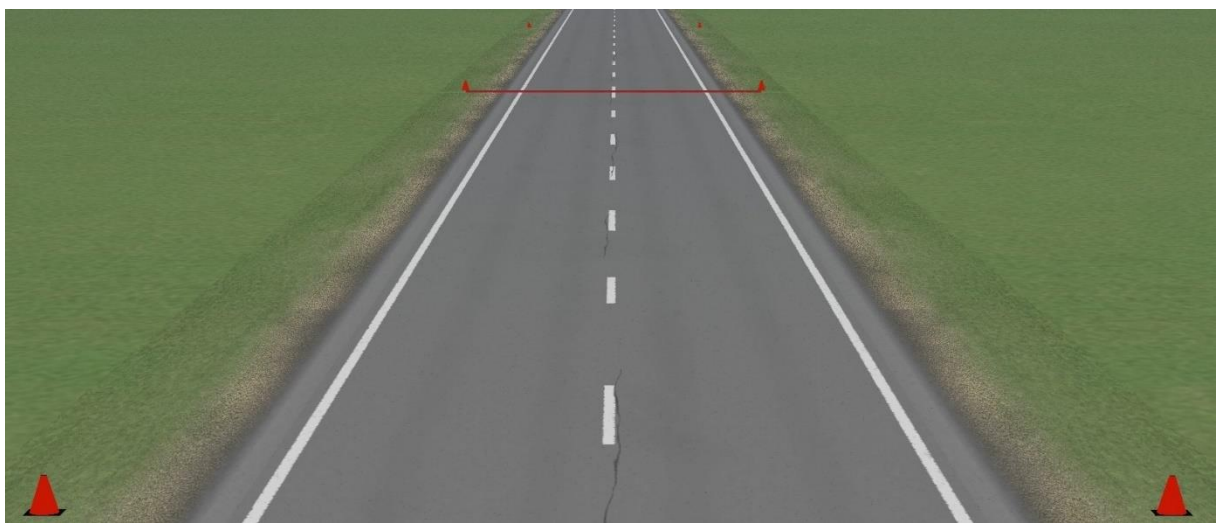


圖 4.3.8 減速丘路面整體模型示意圖

4.3.2 光型振動位移模擬

本研究根據 ECE R112 所規範的非對稱性光源所建立的頭燈光型[13]，以截止線上斜邊最低處 H-V 點為參考點，如圖 4.3.9 所示。

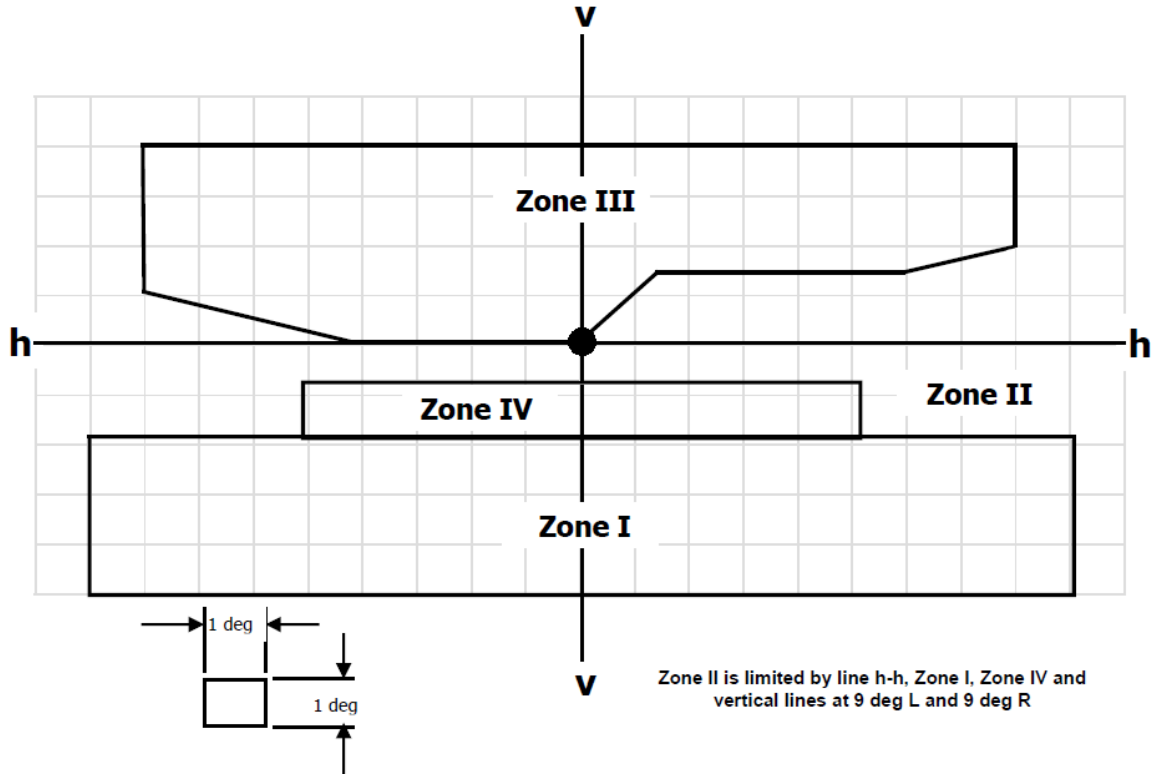


圖 4.3.9 光型振動位移模擬參考點

沿 H-V 參考點至照射面虛擬出一虛擬準直光束，且於虛擬準直光束中建立一量測點，其量測點交會於 H-V 參考點，藉此記錄下量測點於不同行駛路況下之垂直位移量。

由圖 4.3.10 凹陷路面的模擬結果可知，以低速時光束照射點的位移量最大，因懸吊系統的關係當車速愈快，位移會愈小。由此可知當車輛低速經過凹陷路面，車輛頭燈光束需作調整來補償因下沉位移量過大所造成的前方路面視野不良，進行摩托車動態模擬時，將以不同車速及不同路面狀況等模擬條件，來量測光型照射的振動振幅，並以光型，模擬車速則分別為低速（30 km/hr）、中速（60 km/hr）及高速（100 km/hr）通過不同路況，以記錄車輛俯仰角之極限值。

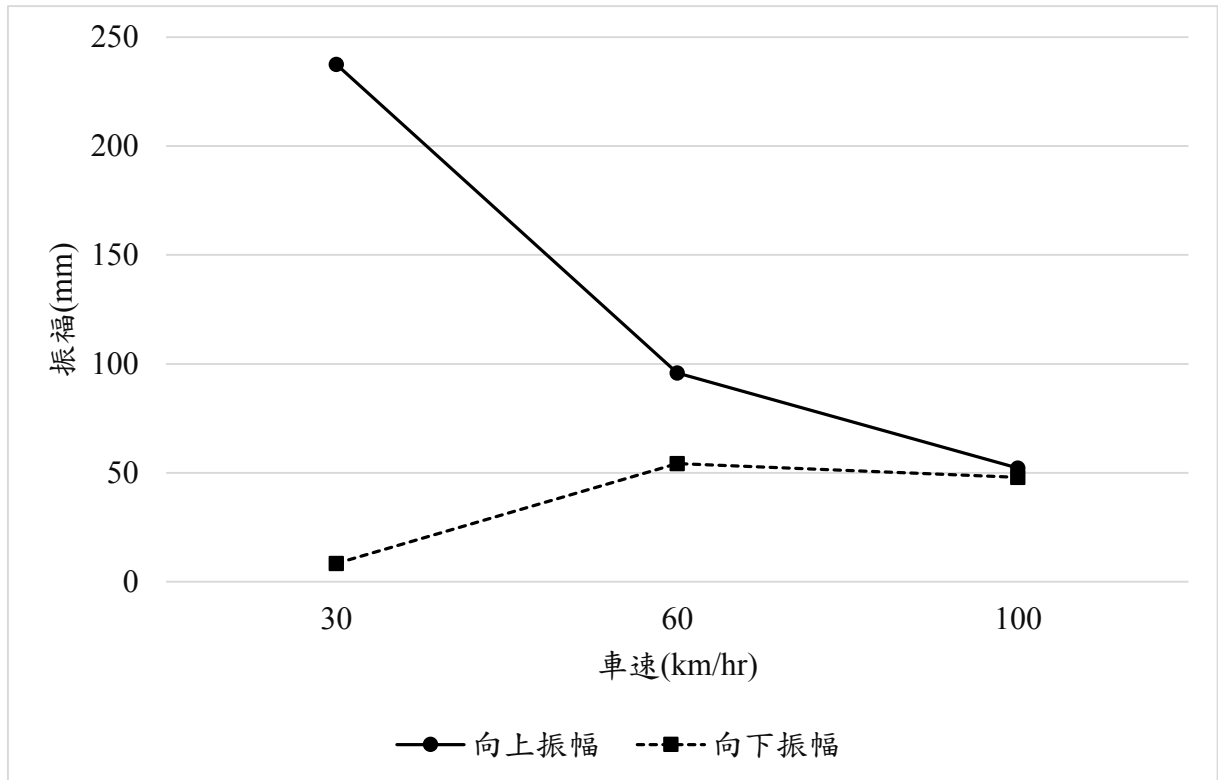


圖 4.3.10 通過凹陷路面之量測點位移極限值

由圖 4.3.11 減速腫的結果來看，車輛通過減速腫瞬間所產生的衝擊力道很大，所造成的位移量容易造成前方路面照明不足，且導致頭燈直射對向駕駛者眼部造成行車安全疑慮。

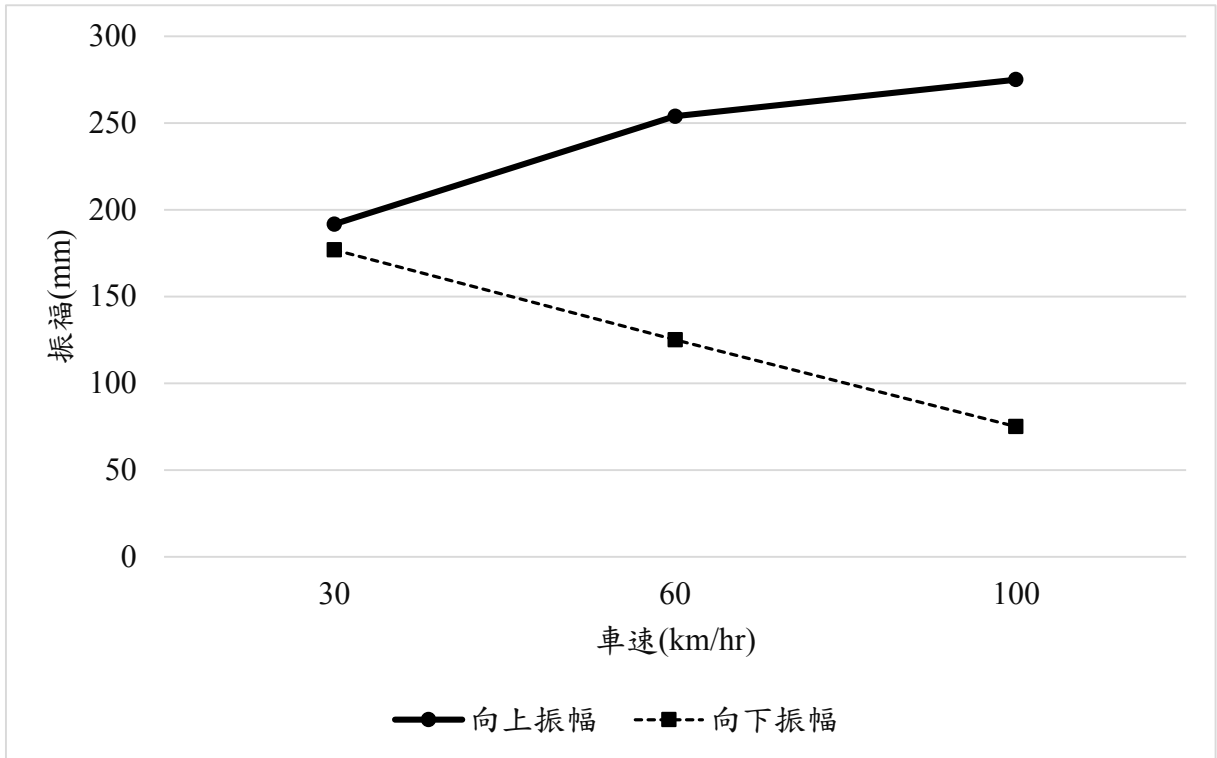


圖 4.3.11 通過減速腫之量測點位移極限值

由圖 4.3.12 減速丘的結果來看，其趨勢與減速腫一樣，但位移量較減速腫更大，在如此高的位移量勢必影響對向駕駛者行車視線及導致前方路面照明不足，因此主動式摩托車頭燈系統需適度調整光束照射角度來補償前方路面照明不足的缺失。

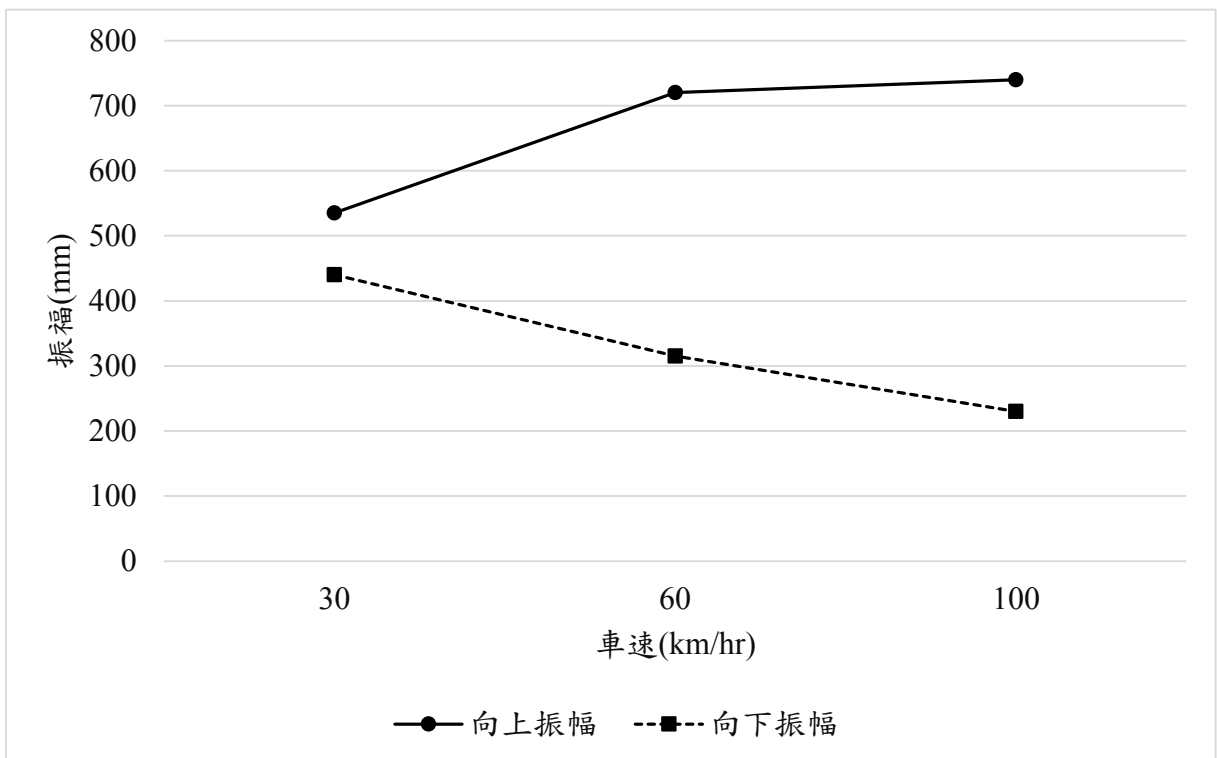


圖 4.3.12 通過減速丘之量測點位移極限值

4.3.3 頻率分析

將量測到的量測點位移運用 FFT 進行頻率分析，結果如圖 4.3.13、圖 4.3.14 及圖 4.3.15 所示，各國中的三條曲線分別表示不同車速下的位移頻率響應。量測點振幅在超過 10Hz 以上後振幅明顯減小，因此量測點振幅頻率在高於 10Hz 時無須對頭燈進行投射高度調整。

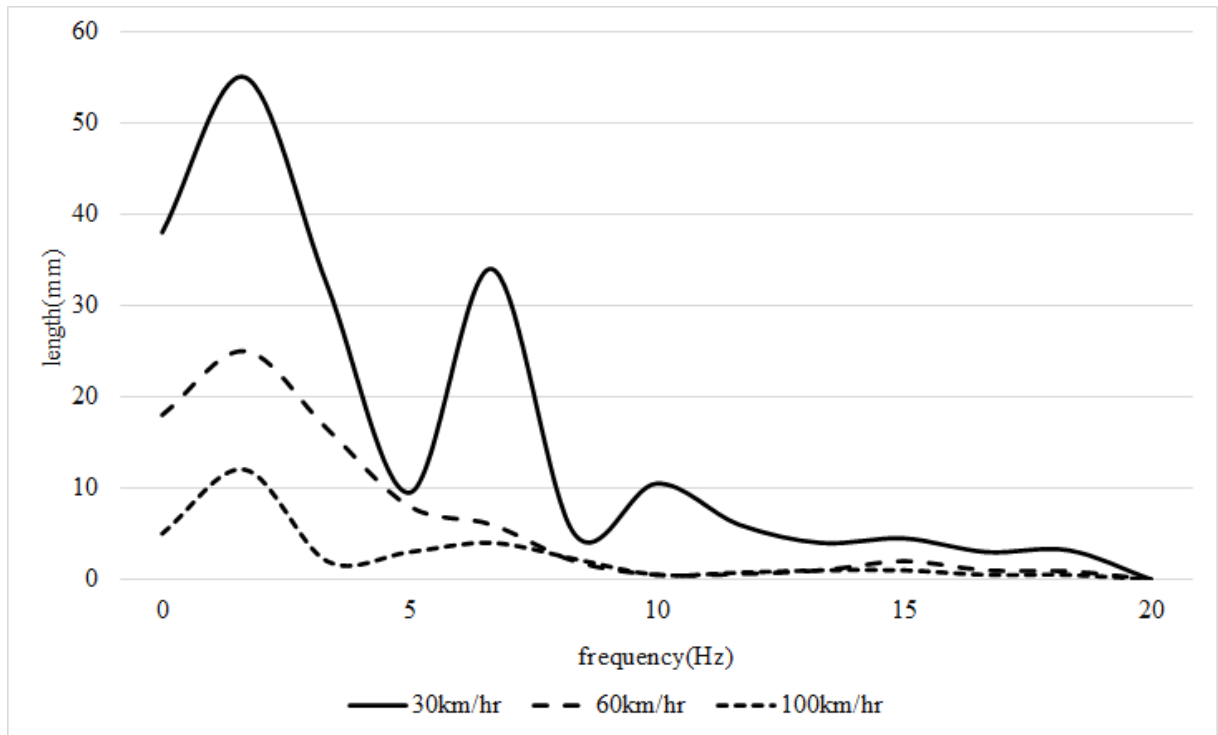


圖 4.3.13 凹陷路面之量測點投射位移頻率分析

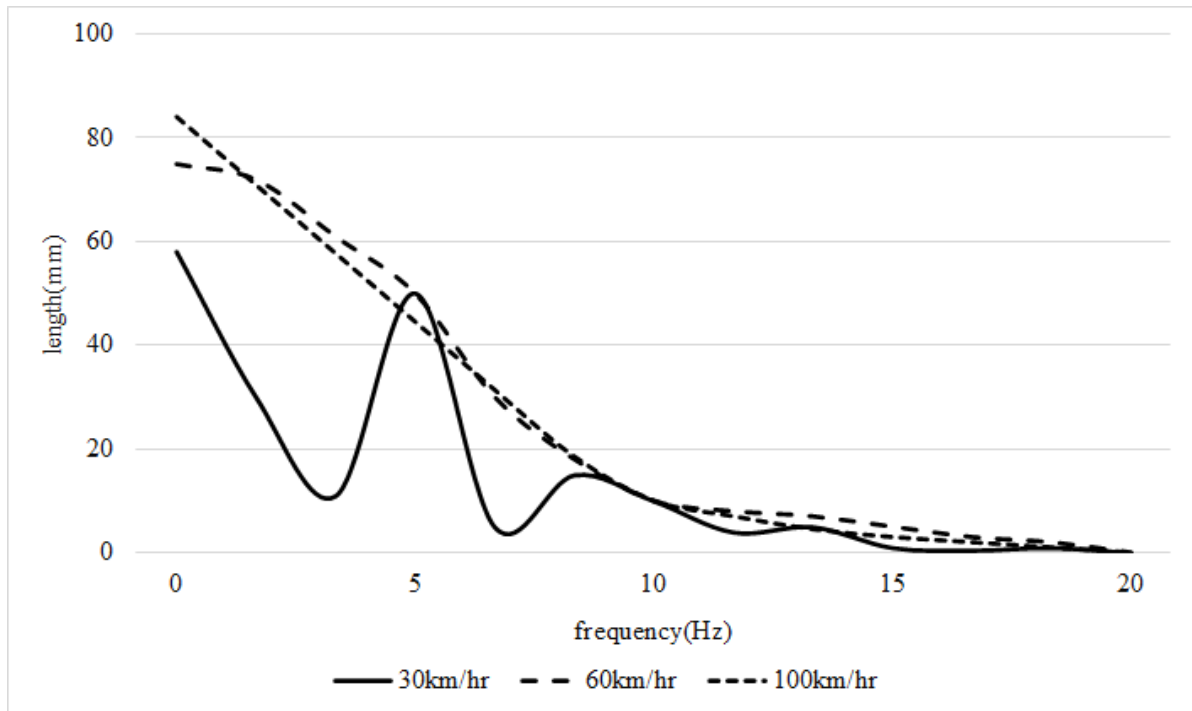


圖 4.3.14 減速壟之量測點投射位移頻率分析

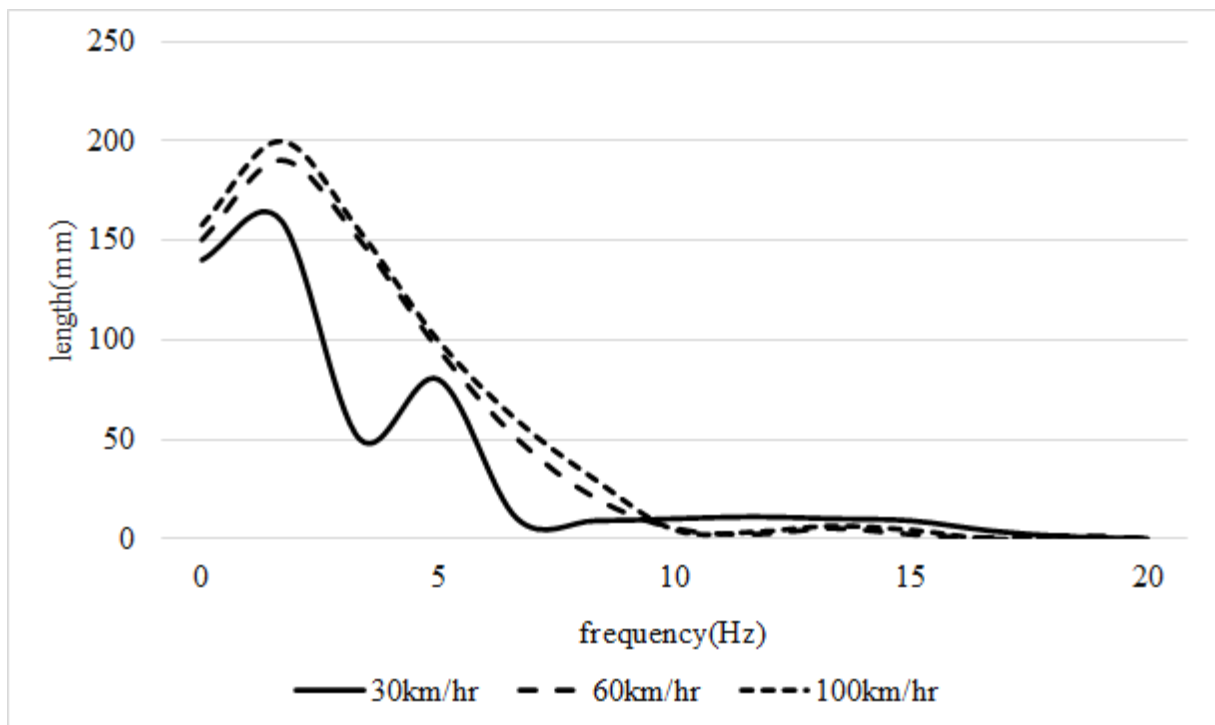


圖 4.3.15 減速丘之量測點投射位移頻率分析

4.3.4 低通濾波器設計

摩托車在某些路況其頭燈系統會產生較高頻的振動，為了達到系統穩定度和防止騎

士視覺疲勞，根據模擬結果，動態頭燈水平控制系統只在小於 10Hz 車輛振動才做調整，高於 10Hz 車輛振動則忽略不計。圖 4.3.16 至圖 4.3.21 顯示量測點在低速（20 km/hr）及高速（100 km/hr）時，經過 10Hz 低通濾波後，原始位移響應波形與濾波後波形的比較圖，經過濾波後的位移響應波形明顯趨緩且振幅變小，摩托車頭燈光束可大致跟隨路面位移變化而提供適當的照明調整，由結果可知 10Hz 低通截止頻率將可提供良好的前方照明視野。

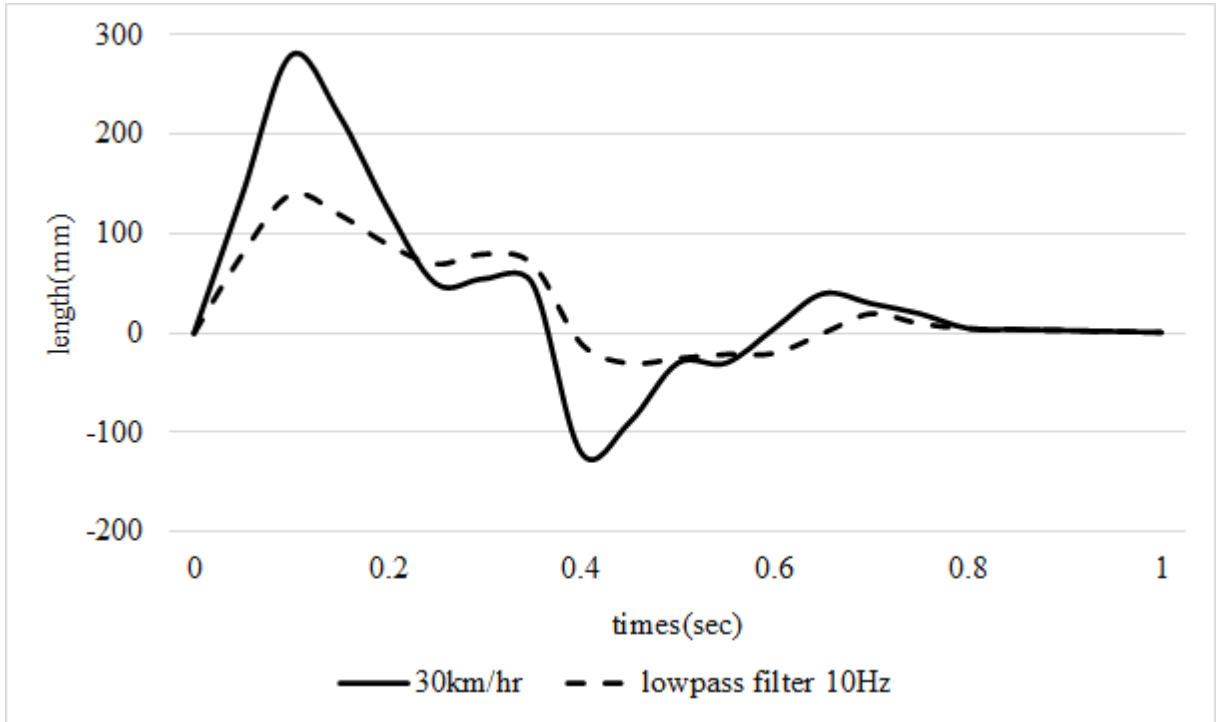


圖 4.3.16 低速下通過凹陷路面對量測點位移進行濾波

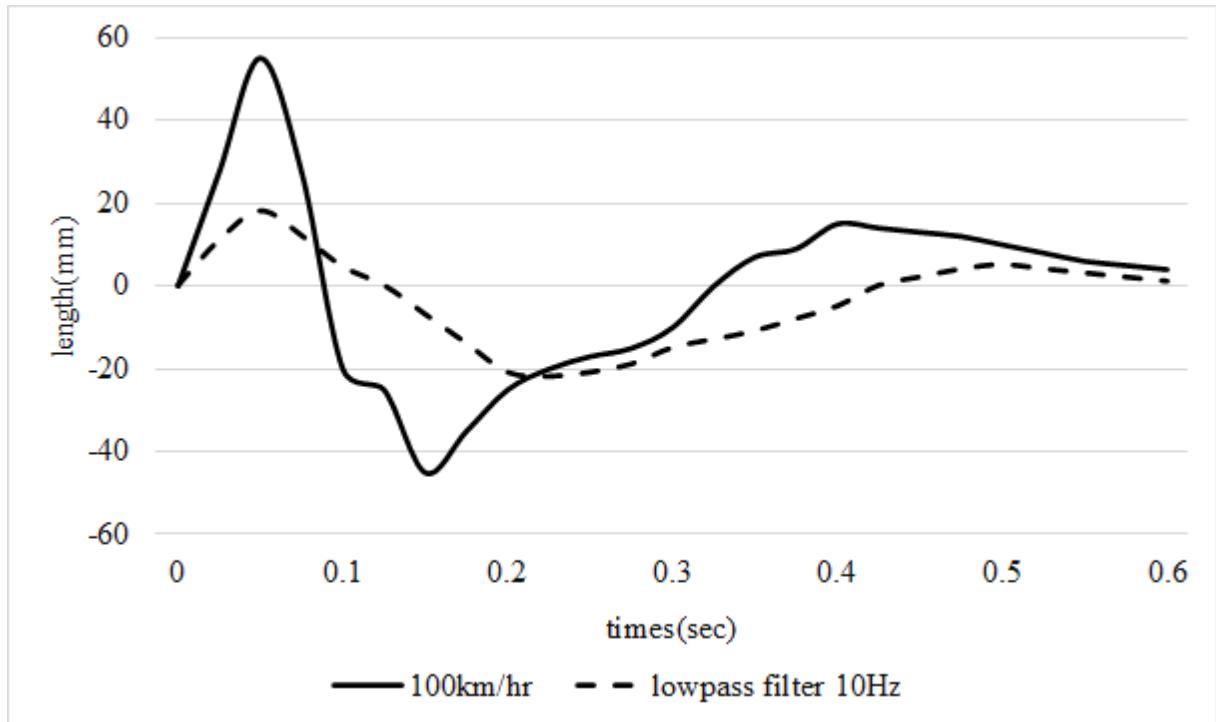


圖 4.3.17 高速下通過凹陷路面對量測點位移進行濾波

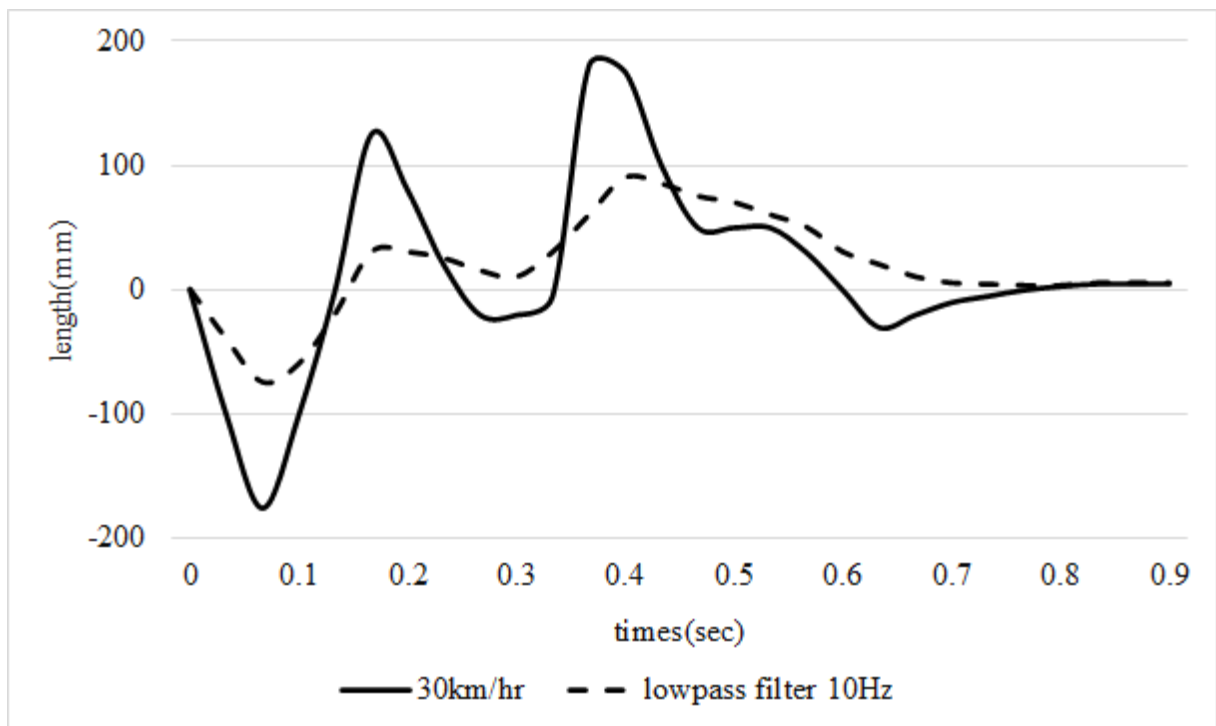


圖 4.3.18 低速下通過減速壟對量測點位移進行濾波

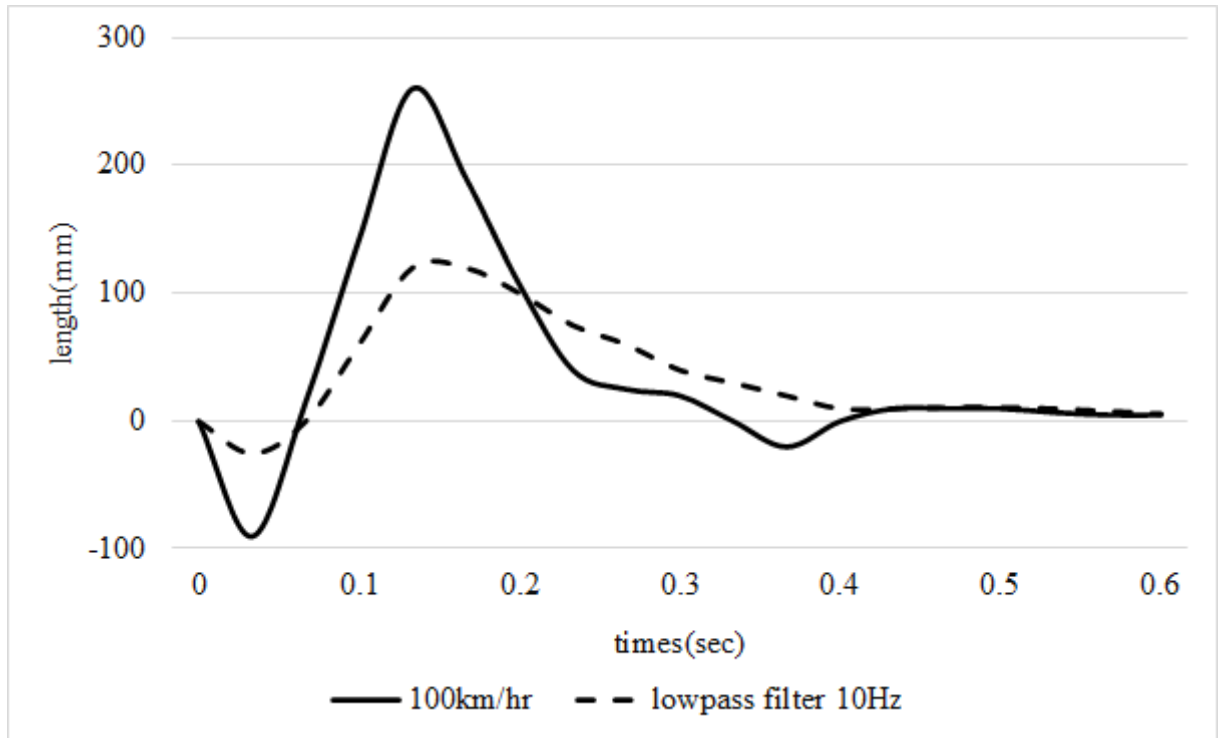


圖 4.3.19 高速下通過減速壟對量測點位移進行濾波

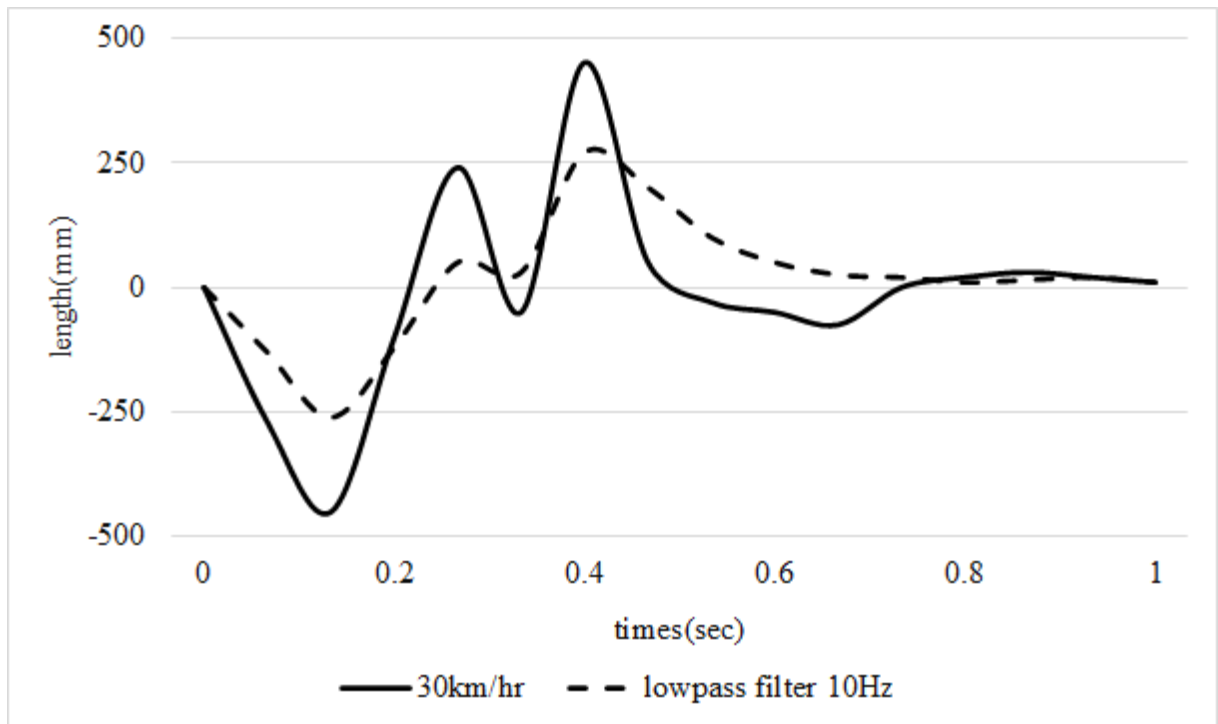


圖 4.3.20 低速下通過減速丘對量測點位移進行濾波

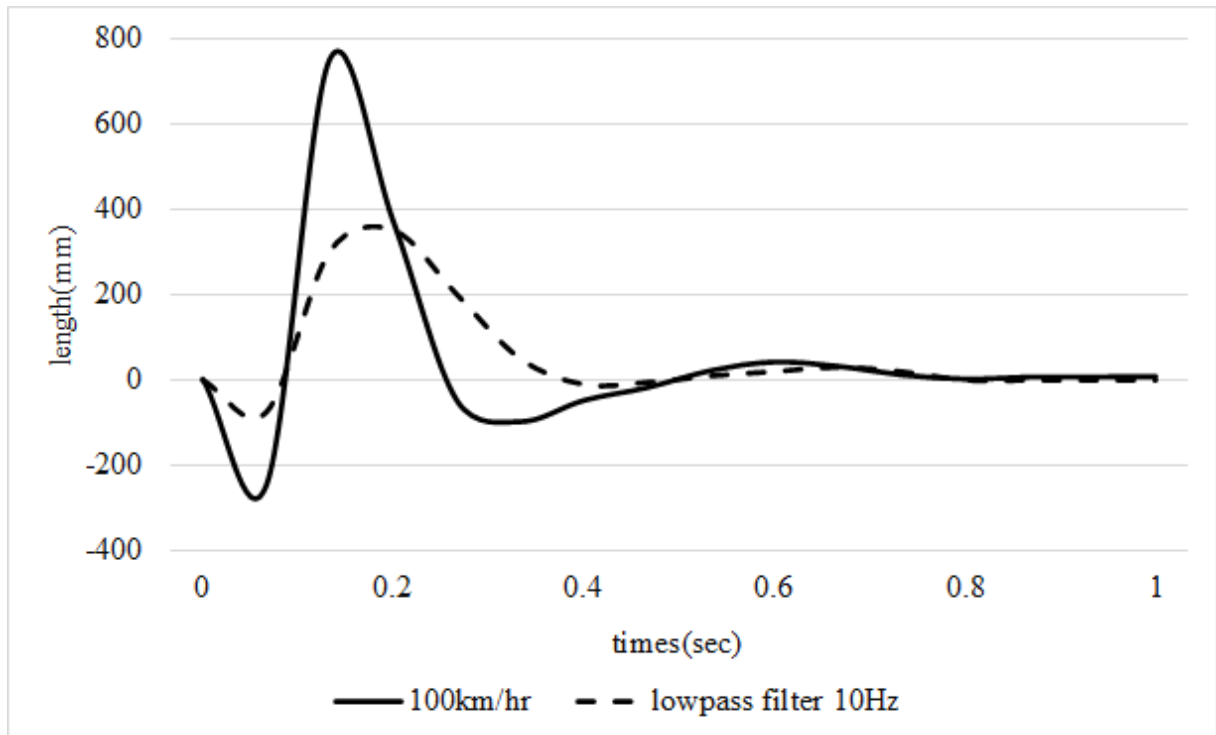


圖 4.3.21 高速下通過減速丘對量測點位移進行濾波

4.4 結果與分析

在車速提高的同時騎士的視力與視野寬度也跟著降低與縮小，為增加駕駛的反應時間，因此有必要在車速提升時向上調整機車頭燈的角度，本研究經由摩托車頭燈照射角度的幾何關係與摩托車煞車安全距離來推算出不同車速下頭燈水平所需調段角度，因此增加了駕駛的反應時間，可有效增進摩托車行車安全。

由於實際的道路情況經常是凹凸不平的路面，經由濾波器及門檻值設定的基準，將道路一些雜訊給去除，使適應性摩托車頭燈系能更加穩定。本研究模擬出摩托車以不同車速行經不同路面狀況時，來觀測摩托車頭燈之量測點的振動位移，再經由頻率分析找出摩托車頭燈的截止頻率為 10Hz，為了減少騎士不必要視覺負擔及增加照明效率，因此設計一 10Hz 的低通濾波器來控制不必要的高頻光束調整，以達到適應式摩托車頭系統動態調整。

當車速高於基本車速時，應調整頭燈水平調整角度，當車輛姿態改變時，應調整頭燈水平角度 θ_{pitch} ，所以頭燈上下轉角應調整角度 $\theta_{desired}$ ，即可由式 17 求得。

$$\theta_{desired} = \theta_{pitch} + \theta_2 \quad (17)$$

5. 摩托車行駛於彎道之動態模擬

5.1 彎道視線不佳對行駛安全之影響

國內外 AFS 研究大多只探討汽車，且研究方向主要著重在車輛直行時之頭燈水平調整，在摩托車方面的研究不管是直行或彎道都付之闕如。當摩托車在直行時，頭燈光束投射的方向是跟車子縱向方向一樣，但摩托車屬於具傾角特徵之車輛，當摩托車在過彎時，因為有側傾角的影響，頭燈光束投射的方向會繞著縱向軸產生變化，而這個變化不僅對彎道照明沒任何幫助，反而對摩托車在彎道上照明性降低，這也是發展汽車 AFS 和摩托車 AFS 最大的不同處。根據國內外交通意外事故研究調查和統計資料顯示[1]，以台灣每年約 3000 件死亡類 (A1) 道路交通意外事故估算，機車事故就佔了 42%，其中約 67% 是發生在夜間，夜間事故中的 60% 主要是因夜間行駛在彎道上的視野死角所發生的事故[42-44]。由以上資料可大約估算出每年約有 507 件機車交通事故，佔總交通事故 17%，其事故發生的最大原因乃在於摩托車頭燈光束投射的方向不在前方的彎道上，導致機車騎士視線不良而發生交通意外，因此本研究將研究重點放在如何發展出新型 AFS 以改善機車行駛於彎道之夜間照明。

5.2 摩托車側傾過彎之運動分析

改善車輛騎乘於彎道之視野照明是本研究的研究重點。摩托車側傾過彎時會有兩個角度變化對頭燈造成影響，如圖 5.2.1 所示，其中偏航角從過去的研究來看大都是靠實驗去求得數據或直接忽略偏航角的影響。在此可由幾何的關係去推算出側傾角的理論關係式[45]，如圖 5.2.2 和圖 5.2.3 所示。



圖 5.2.1 摩托車側傾時影響頭燈變化角度

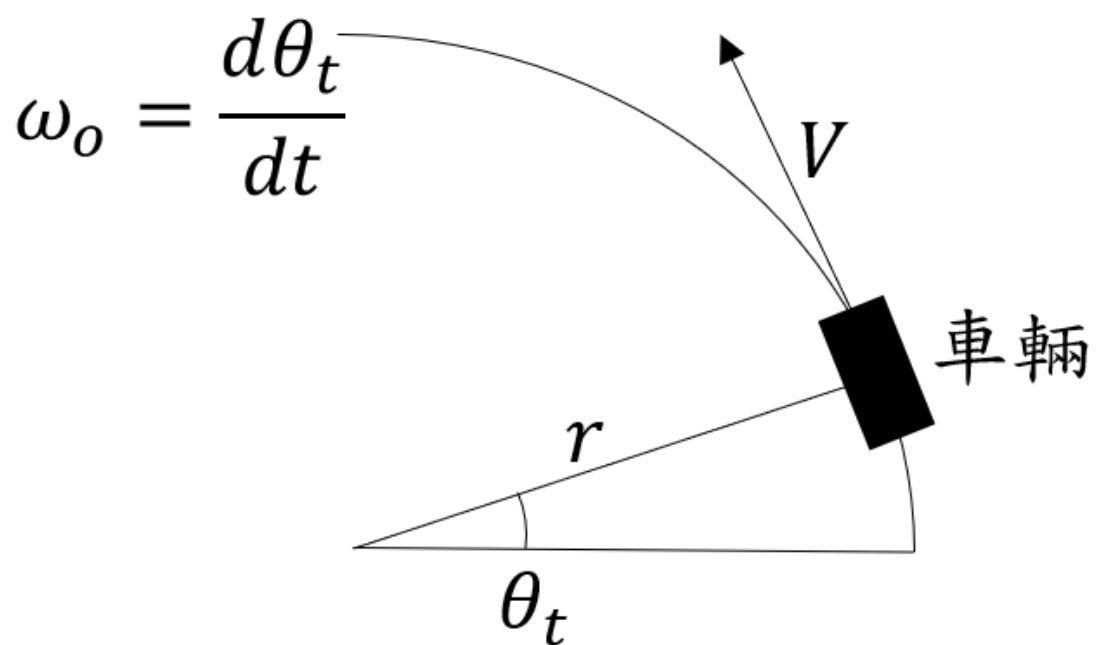


圖 5.2.2 摩托車行駛於彎道之上視圖

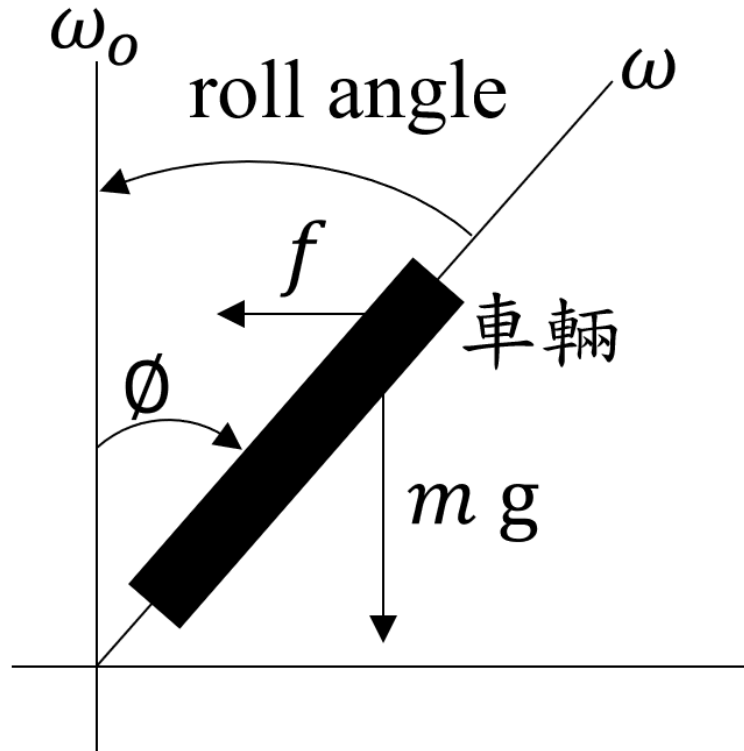


圖 5.2.3 摩托車行駛於彎道之前視圖

速度可以表示成式 18

$$V = r \cdot \omega_0 \quad (18)$$

轉彎時角速度的關係則表示成式 19

$$\omega = \omega_0 \cdot \cos \phi \quad (19)$$

離心力可以表示成式 20

$$f = \frac{m \cdot V^2}{r} \quad (20)$$

重力與離心力平衡可以表示成式 21

$$f = mg \cdot \tan \phi \quad (21)$$

結合式 20 與式 21 可得

$$\frac{m \cdot V^2}{r} = mg \cdot \tan \phi \quad (22)$$

再將式 19 代入式 22 可得

$$\sin \phi = \frac{V^2 \cdot \omega}{r \cdot g \cdot \omega_0} \quad (23)$$

再將式 18 帶入式 23 則側傾角之理論關係式即可求出

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{V \cdot \omega}{g} \right) \quad (24)$$

由於理論幾何關係所推算出的側傾角並未考慮行駛中駕駛的重心轉移及車輪動態

模型的影響，造成理論與實際不符合，因此本研究運用摩托車動態分析軟體去模擬摩托車行駛時頭燈動態，以模擬當不同車速及不同道路曲率半徑時，量測頭燈位置側傾角和偏航角之變化量，再去推論頭燈所需要調整的角度，希望由數值模擬來做進一步的驗證分析。

5.3 摩托車側傾角與偏航角之動態模擬及控制策略

5.3.1 路面模型

摩托車頭燈側傾角，偏航角動態模擬所用之摩托車模型如直線動態模擬，為摩托車動態分析軟體內建之摩托車模組，由於採用軟體內建摩托車模型，因此可確認摩托車各主要參數之正確性，再依據模擬條件所需，變更摩托車模型的次系統來符合本研究的需求。本研究模擬摩托車行駛於彎道，為了更符合實際道路情況，因此道路曲率半徑範圍涵蓋根據內政部營建署之一般道路曲率半徑設計規範去模擬[46]，如表 5.3.1 所示，本研究則更進一步分別以不同道路曲率半徑和不同車速去模擬，如表 5.3.2 所示。

表 5.3.1 一般道路曲率半徑設計規範

車速(km/hr)	一般道路曲率半徑(m)
30	80
40	110
50	140
60	170
70	200
80	220

表 5.3.2 模擬道路曲率半徑設計

車速(km/hr)	模擬道路曲率半徑(m)
30	60
40	80
50	100
60	120
70	160
80	200
90	240
100	280

5.3.2 摩托車側傾角之動態模擬

經摩托車動態分析軟體模擬分析摩托車在不同車速及不同道路曲率半徑下行駛於

彎道，其摩托車頭燈側傾角和偏航角的角度如表 5.3.3 所示。

表 5.3.3 側傾角與偏航角模擬結果

角度(deg)		速度(km/hr)								
		30	40	50	60	70	80	90	100	
曲 率 半 徑 (m)	60	Roll	8.834	15.394	23.107	31.328	39.426	N/A	N/A	N/A
		Steer	1.203	0.979	0.682	0.355	0.030	N/A	N/A	N/A
	80	Roll	6.748	11.905	18.183	25.206	32.536	39.791	N/A	N/A
		Steer	0.923	0.774	0.565	0.307	0.040	-0.229	N/A	N/A
	100	Roll	5.452	9.678	14.921	20.952	27.479	34.205	40.874	N/A
		Steer	0.749	0.637	0.481	0.277	0.047	-0.183	-0.425	N/A
	120	Roll	4.342	7.735	11.992	16.973	22.488	28.336	34.323	40.222
		Steer	0.62959	0.54041	0.41786	0.25361	0.056763	-0.15308	-0.36062	-0.580
	160	Roll	3.452	6.170	9.623	13.738	18.418	23.545	29.006	34.675
		Steer	0.476	0.413	0.328	0.214	0.069	-0.099	-0.275	-0.4581
	200	Roll	2.7725	4.9618	7.7613	11.129	14.997	19.339	24.05	29.078
		Steer	0.38329	0.33362	0.26945	0.183	0.076532	-0.06352	-0.21532	-0.3773
	240	Roll	2.3158	4.1478	6.4985	9.3415	12.643	16.363	20.464	24.911
		Steer	0.32018	0.27961	0.22758	0.15868	0.070443	-0.03788	-0.16602	-0.3071
	280	Roll	1.9871	3.5625	5.587	8.0432	10.91	14.161	17.774	21.731
		Steer	0.27419	0.24054	0.19682	0.13943	0.066847	-0.02416	-0.13215	-0.2573

分析摩托車頭燈側傾角模擬結果，如圖 5.3.1 所示，利用曲線擬合(curve fitting)的方法找出其摩托車頭燈側傾角與車速及道路曲率半徑的線性方程式，可將模擬結果做成三維立體圖可更方便觀察側傾角和車速及道路曲率半徑之間的關係，如圖 5.3.2 所示，由結果可以看出當車速愈高其側傾角愈大，但當道路曲率半徑愈大其側傾角則愈小。

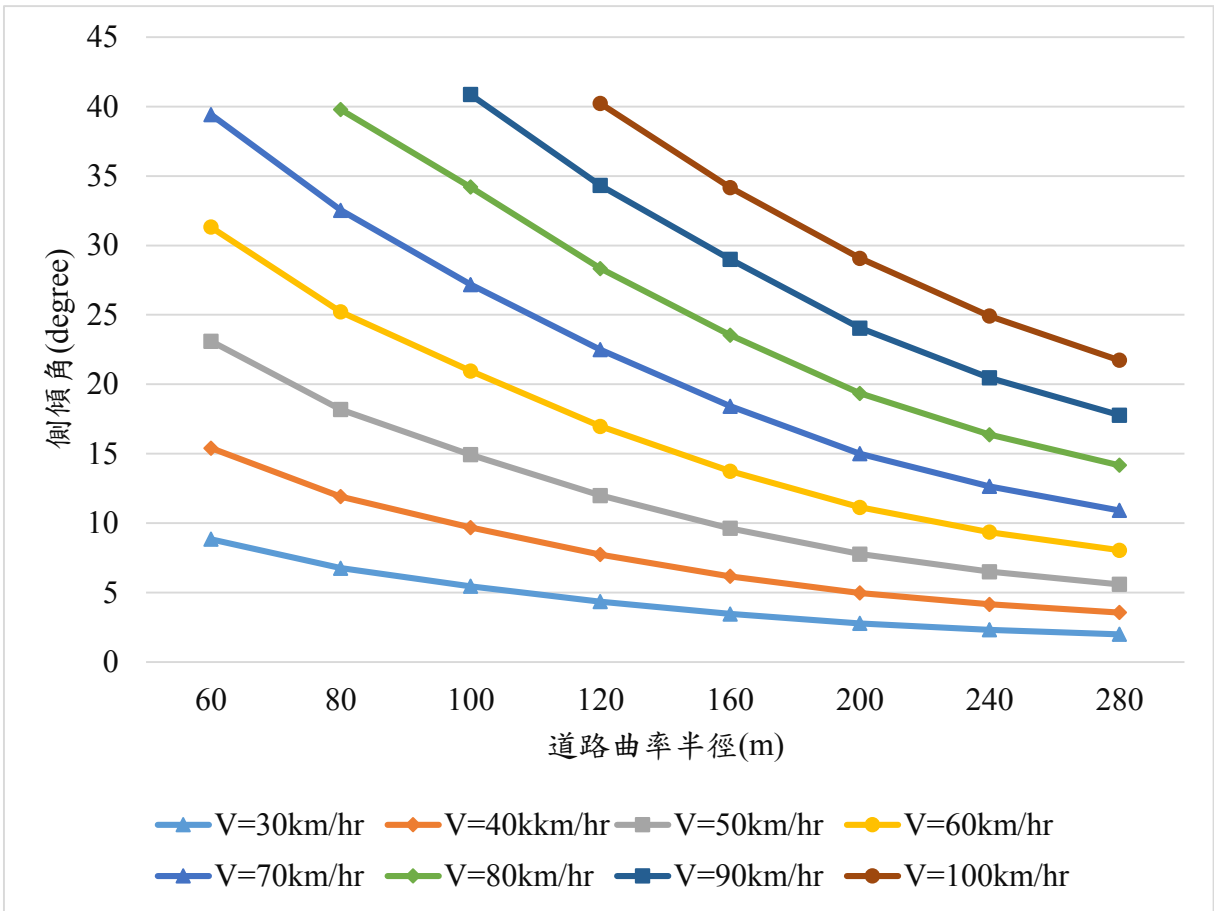


圖 5.3.1 側傾角模擬結果

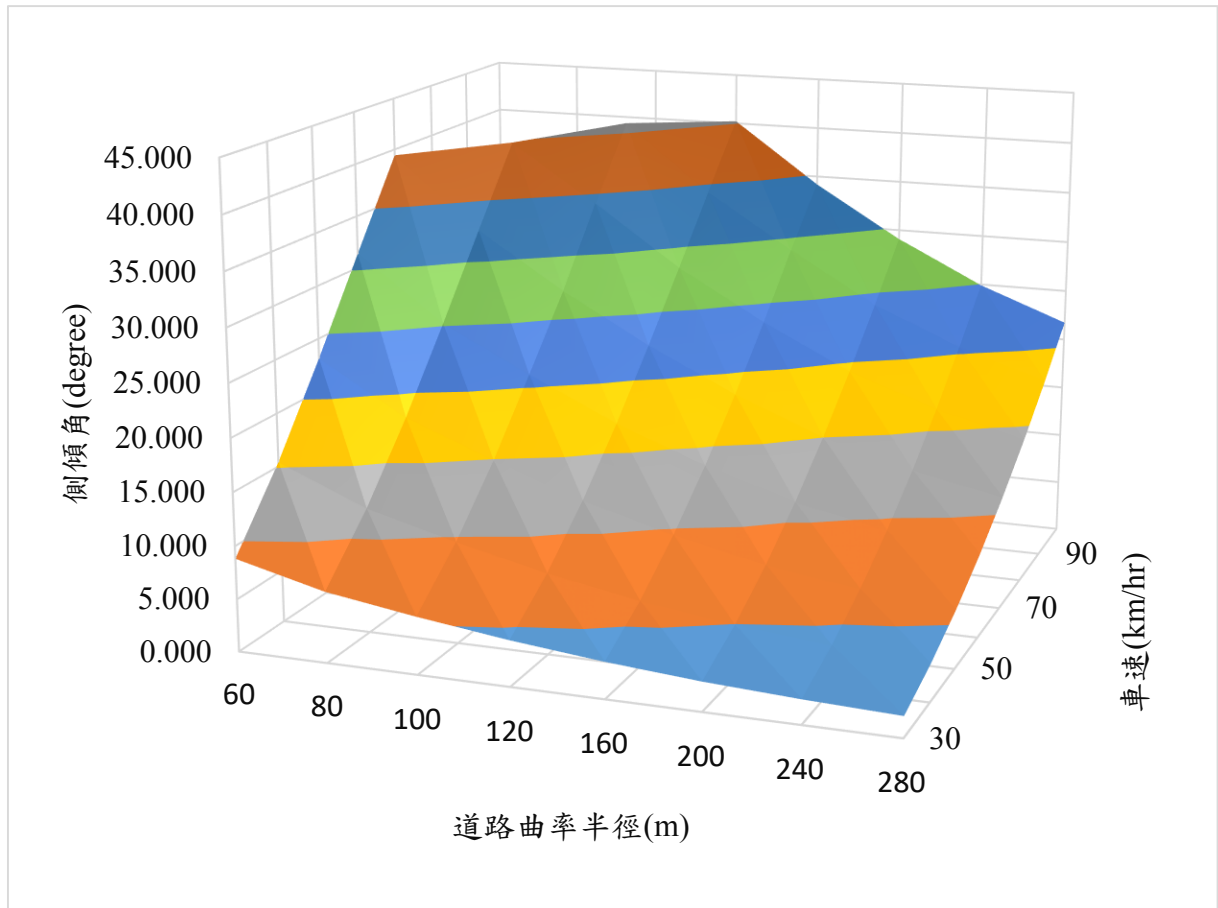


圖 5.3.2 側傾角模擬結果三維立體圖

為了找出摩托車頭燈側傾角和車速及道路曲率之間的關係，我們利用曲線擬合的方法找出其方程式，其目的是要經由有限的取樣點來建立一個數學模型，並藉由此數學模型來進行進一步的預測與分析側傾角。曲線擬合結果如圖 1.3.1 所示，其每條線可用多項式方程式採二幕次表示，如式 25 所示，全部多項式方程式結果如表 5.3.4 所示。

$$\phi = P_2 \cdot r^2 - P_1 \cdot r + P_0 \quad (25)$$

表 5.3.4 側傾角多項式方程式

車速(km/hr)	P_2	P_1	P_0	R^2
30	0.476	10.337	73.955	0.9999
40	0.4684	9.7816	66.013	0.9998
50	0.3876	8.2174	54.954	0.9994
60	0.3957	7.605	46.458	0.9998
70	0.3592	6.507	37.21	0.9994
80	0.2942	5.0868	27.599	0.9988
90	0.2102	3.5261	18.453	0.9981
100	0.126	2.0745	10.611	0.9974

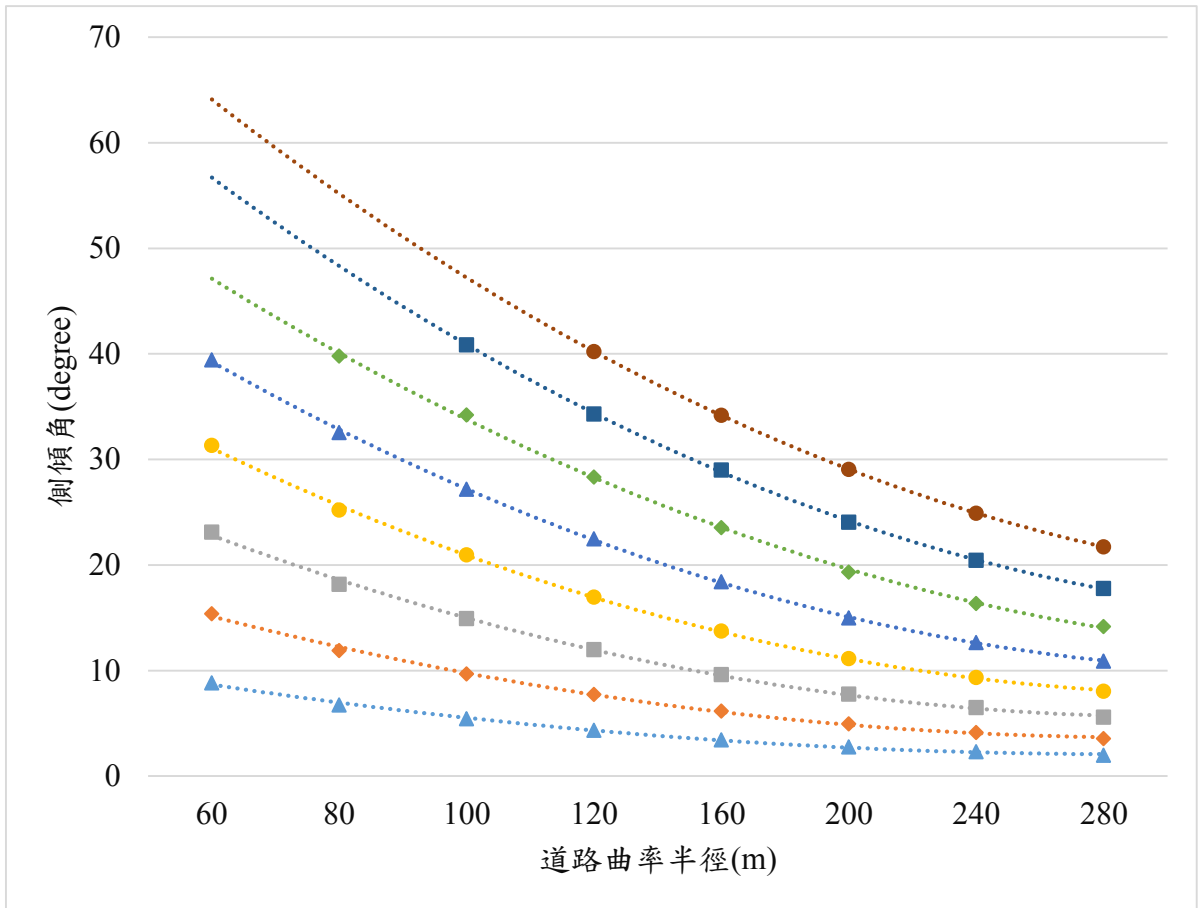


圖 5.3.3 對側傾角模擬結果進行曲線擬合

由於表 5.3.4 中常數項 P_0 因數值對整個方程式影響不大，因此忽略 P_0 。目前已求得摩托車頭燈側傾角與道路曲率半徑的模擬關係式，尚缺乏車速變因，因此再針對二次項 P_2 與一次項 P_1 進行曲線擬合，如圖 5.3.4 及圖 5.3.5 所示， R^2 分別為 0.9778 及 0.9959，最後即可求得摩托車頭燈側傾角和車速及道路曲率半徑的模擬關係式，如式 25 所示，式中其 R^2 等於 0.9975。

$$\phi = (-0.0055V^2 + 0.0014V + 0.47) \cdot r^2 + (0.06V^2 + 0.63V - 11.06) \cdot r \quad (25)$$

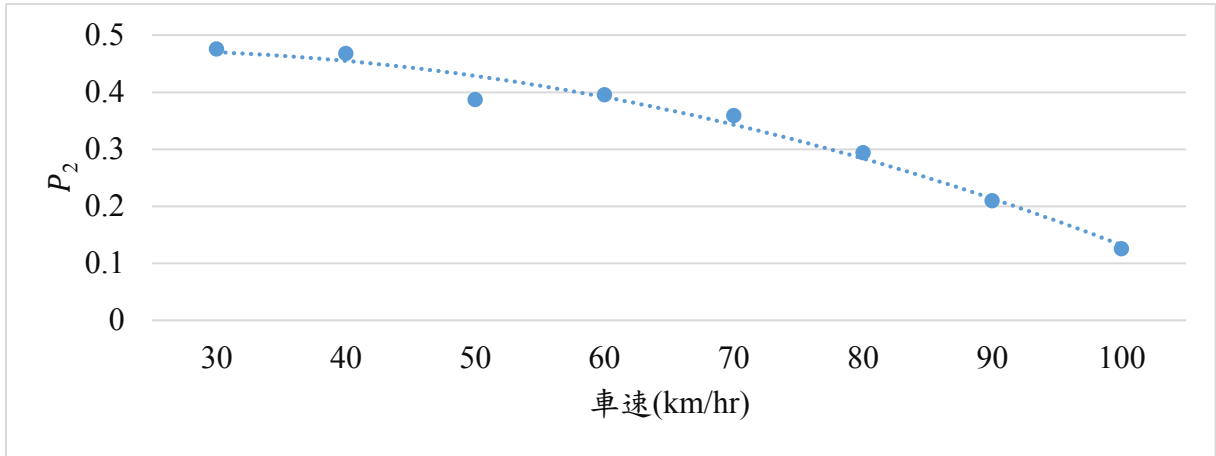


圖 5.3.4 對二次項 P_2 進行曲線擬合

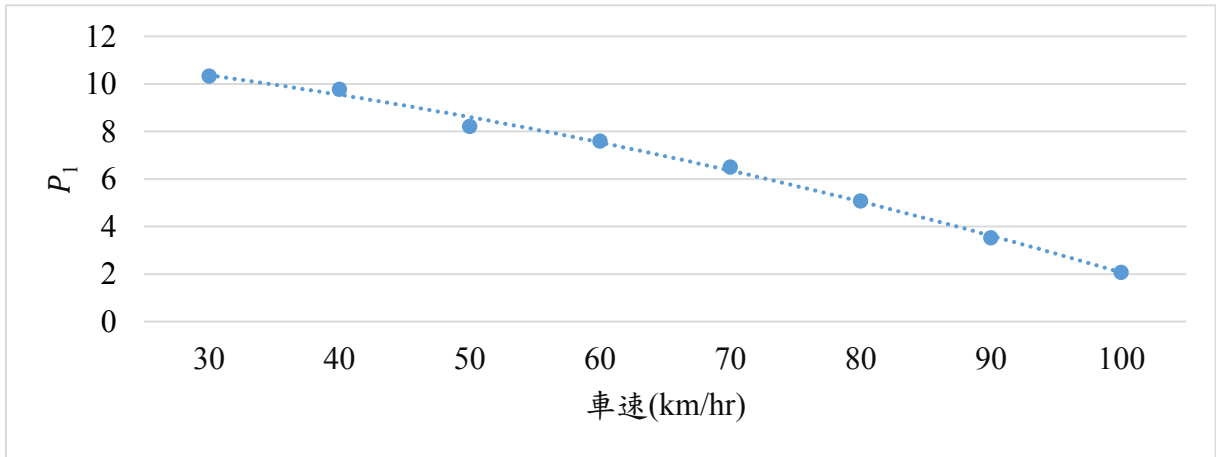


圖 5.3.5 對一次項 P_1 進行曲線擬合

5.3.3 摩托車偏航角之動態模擬

摩托車偏航角在一般研究上大都直接忽略不去考慮，但並未提出相關證據，證明偏航角可以忽略。另外一般人觀念都認為如果摩托車頭燈裝設在轉向車頭上，在彎道上會有主動式輔助照明的效果，但也無法提出偏航角對於輔助照明的影響程度。本研究將深入探討偏航角對摩托車頭燈照明之影響。分析摩托車頭燈偏航角模擬結果，如圖 5.3.6 所示，由結果可以看出當車速愈高其偏航角愈小，當道路曲率半徑愈大其偏航角也愈小。

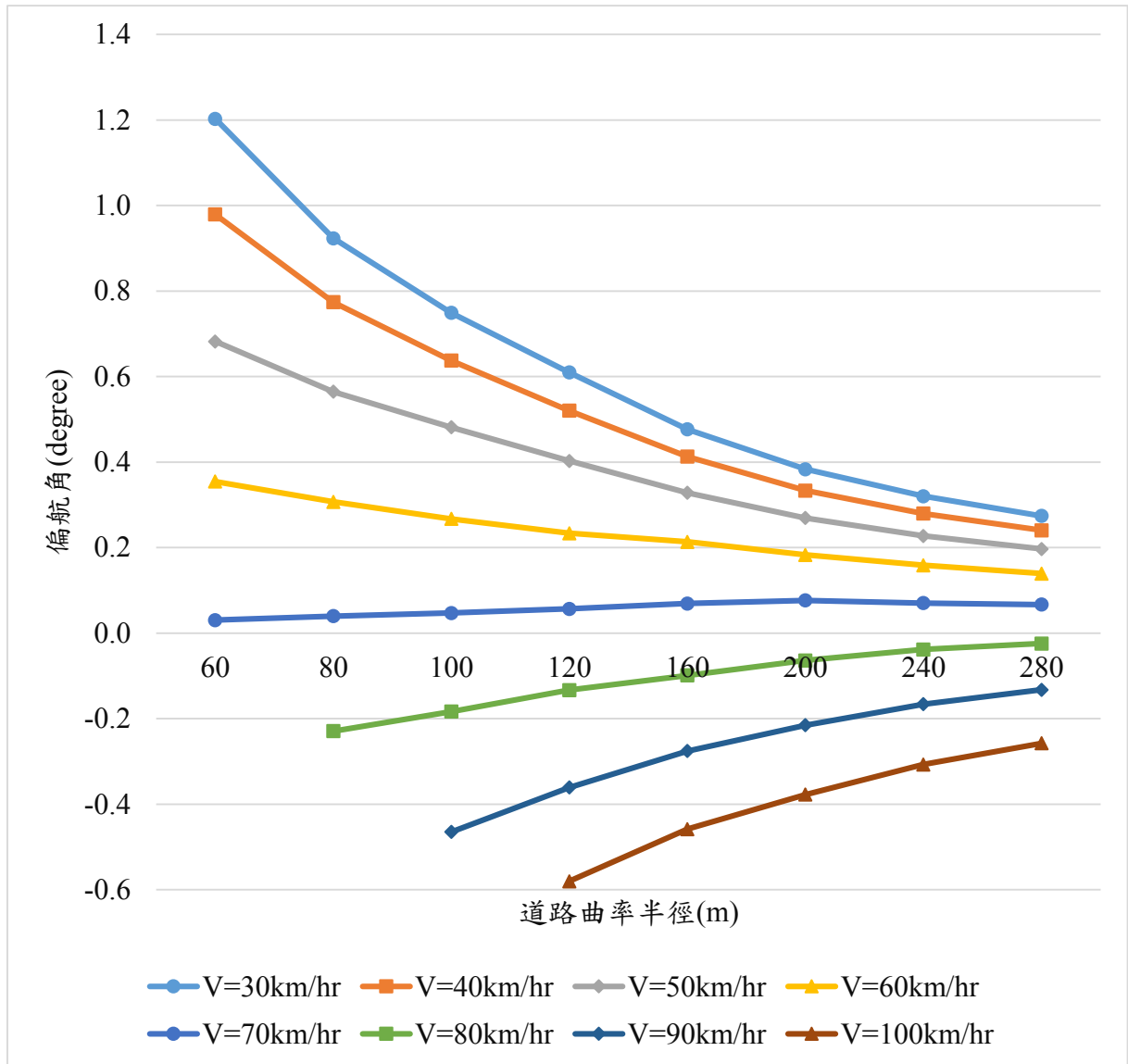


圖 5.3.6 偏航角模擬結果

由偏航角模擬結果可得知摩托車偏航角角度最大不超過 1.3 度，且隨車速增加而減小，當道路曲率半徑愈大其偏航角愈小，由基本頭燈投射距離為 25m 推算，偏航角對摩托車在彎道上的主動式輔助照明效果只有 0.52m，且在車輛具側傾角情況下效果更是有限，因此摩托車於彎道行駛中因偏航角影響，而產生之主動式輔助照明效果不大，因此可直接忽略不去考慮。

5.4 結果與分析

根據模擬結果，側傾角角度最大值約 40 度，但一般實際情況中，摩托車正常行駛時，傾角角度最大值則約在 30 度左右，基於此假設，將式 18 改寫為式 26，其誤差值約為 5%。

因為

$$V = r \cdot \omega_0 \approx r \cdot \omega \quad (26)$$

所以經由模擬所求得數學模型可改寫為式 27

$$\phi = \frac{(-0.0055V^2 + 0.0014V + 0.47) \cdot V^2}{\omega^2} + \frac{(0.06V^2 + 0.63V - 11.06) \cdot V}{\omega} \quad (27)$$

由於模擬軟體提供了更高效率和更佳準確度的計算方法，因此本研究利用數值模擬方法去分析比較側傾角模擬值和理論值結果，而由結果可知模擬數值和理論值有誤差值，但因為模擬之假設條件更符合摩托車行駛時實際情況，因此利用模擬結果控制頭燈側傾角調整其準確率將更高。

經由模擬分析建立出摩托車過彎時控制頭燈之數學模型，其中車速訊號可由摩托車本身車速訊號或由動態感測器求得，道路曲率半徑參數則可經由裝設陀螺儀感應器得到車身角速度訊號，有了車速及角速度二種訊號再代入數學模型，如式 27 所示，即可得知摩托車過彎時頭燈所需要調整的側傾角角度，並且由模擬結果可知偏航角角度很微小，因此可忽略偏航角對整體系統之影響。

6. 適應性二軸三維引力式摩托車頭燈設計

6.1 頭燈系統改善照明效益

現行傳統 AFS 系統使用馬達調整頭燈有反應過慢且成本高的問題，進而造成摩托車 AFS 系統無法普及，為了改善上述缺點，且 LED 作為光源乃未來之趨勢，因此發展出適應性先進摩托車頭燈系統，而本研究之摩托車主動式頭燈可透過二軸系統對光源模組進行調整，可隨車輛姿態變化與車速之不同動態及各式道路環境而變化調整，並大幅提升摩托車頭燈照射效率及光利用率。

此創新適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統有下述優點：

1. 與同為三維調整頭燈相比，因減少兩顆馬達等轉動控制機械結構，整體結構之拆卸及組裝更為便利，更可減少頭燈成本，增加頭燈可靠性。
2. 因採用引力式設計，藉由混和軸使用，同時控制側傾角與偏航角實施連續三維且連續多重照明角度變化，此種彈性度極高的照明形態可提升駕駛之行車視野，達到較佳之行人與駕駛保護功效。
3. 使用單一光源之 LED 可確保持續輸出光線，無陣列式照明邊陲光源利用率不高之問題，除了擁有較佳照明光型外，外型亦可與市場上競品有所區別，呈現豐富時尚感及科技感。
4. 摩托車啟動時，頭燈能根據載重所造成姿態變化，自動校正光型投射面與路面的垂直度，以提供正確的光束照明角度，同時提供日行燈解決方案，無須進行額外安裝。

6.2 創新摩托車頭燈系統設計

由於傳統頭燈其光源與相關之光學設備皆具固定，因此其所產生之照明光型亦不易調整，且摩托車於轉彎時會依其速度及轉彎半徑之不同而有不同程度之側傾，因此傳統固定之照明光型實難以依不同之照明需求或場合而提供相對適當之照明效果。如圖 2.1.1 所示，本研究所設計之新適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統，可有效改善傳統頭燈之缺點，提供更佳之照明效果，外型如圖 6.2.1 所示。

本研究之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統在車輛無載重時，光型照明面與路面設定為垂直，如有載重則會使光型照明面與路面呈一定夾角，當摩托車發動時，內置九軸陀螺儀即重新校正水平高度，藉由伺服馬達驅動投射式光源旋轉使光型照明面重新與路面產生垂直。

當車輛產生側傾角時，適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統透過配重及齒輪比，自動修正頭燈系統姿態，補償因車輛側傾所產生之側傾角，藉由修正後角度透過傳動軸傳遞至反射鏡面，反射鏡面則沿混和軸作旋轉運動，補償因車輛側傾所產生之側傾角，齒輪組及傳動機構如圖 6.2.2 所示，詳細整體設計工程圖如所示。

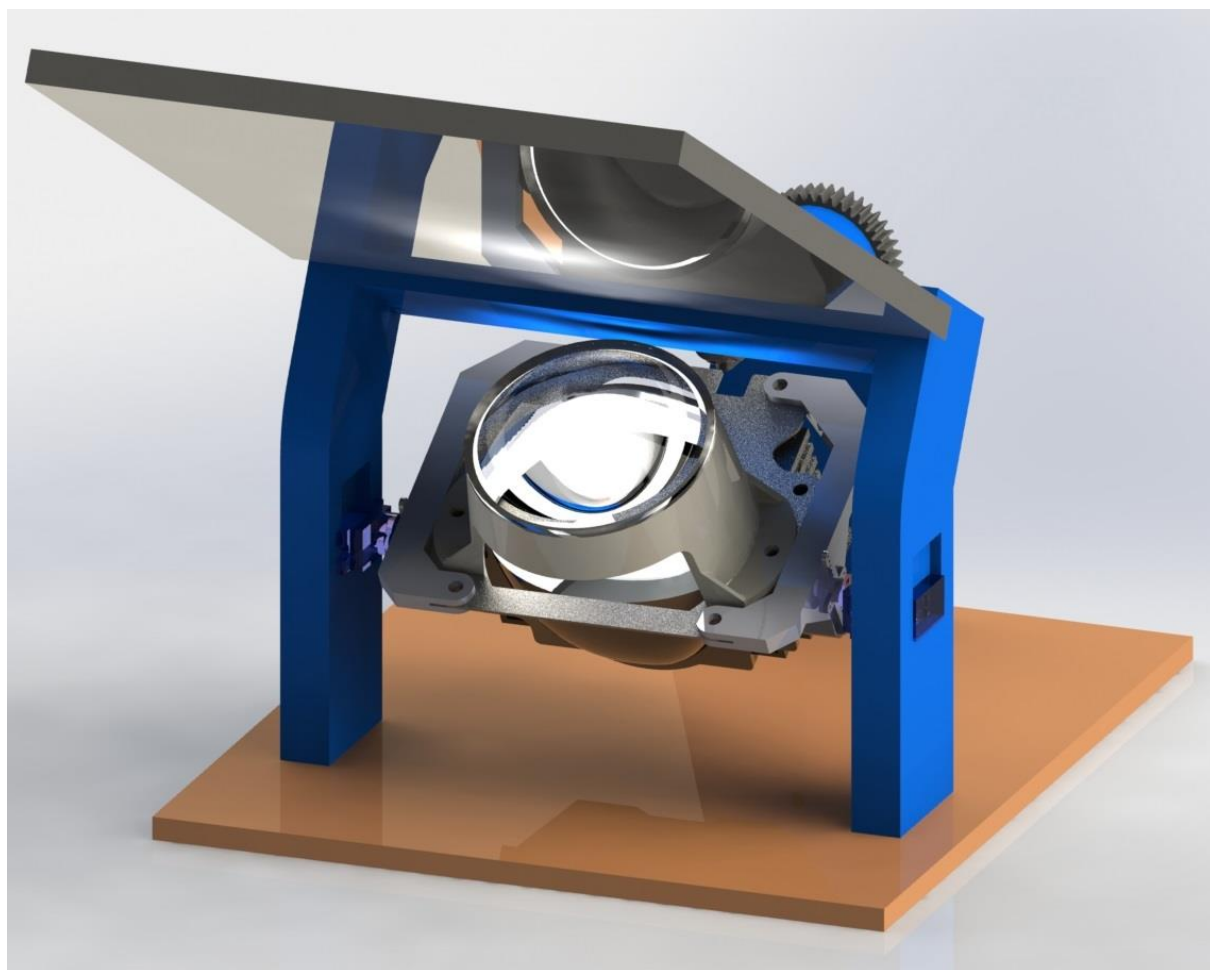


圖 6.2.1 適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統渲染示意圖 A

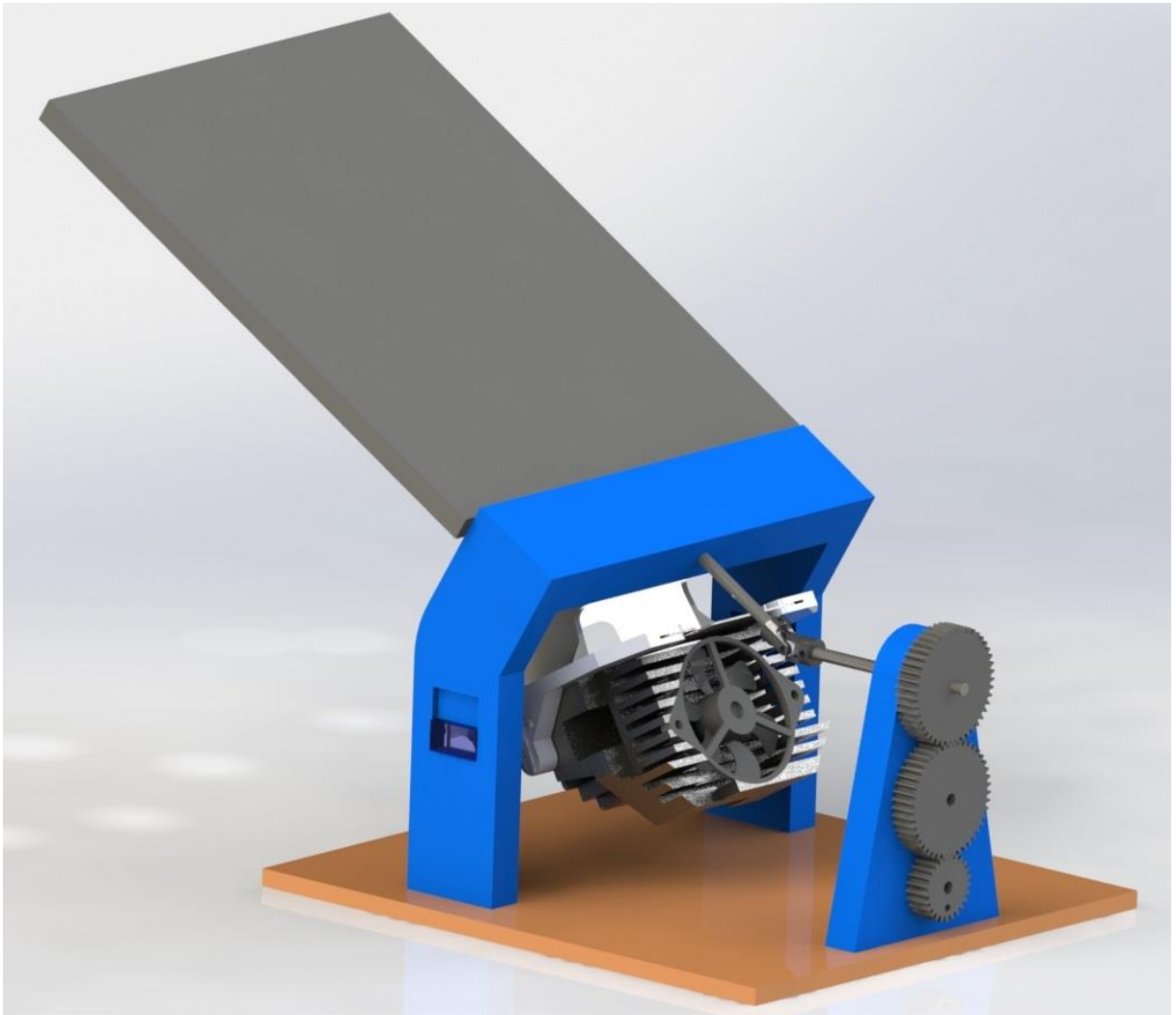


圖 6.2.2 適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統渲染示意圖 B

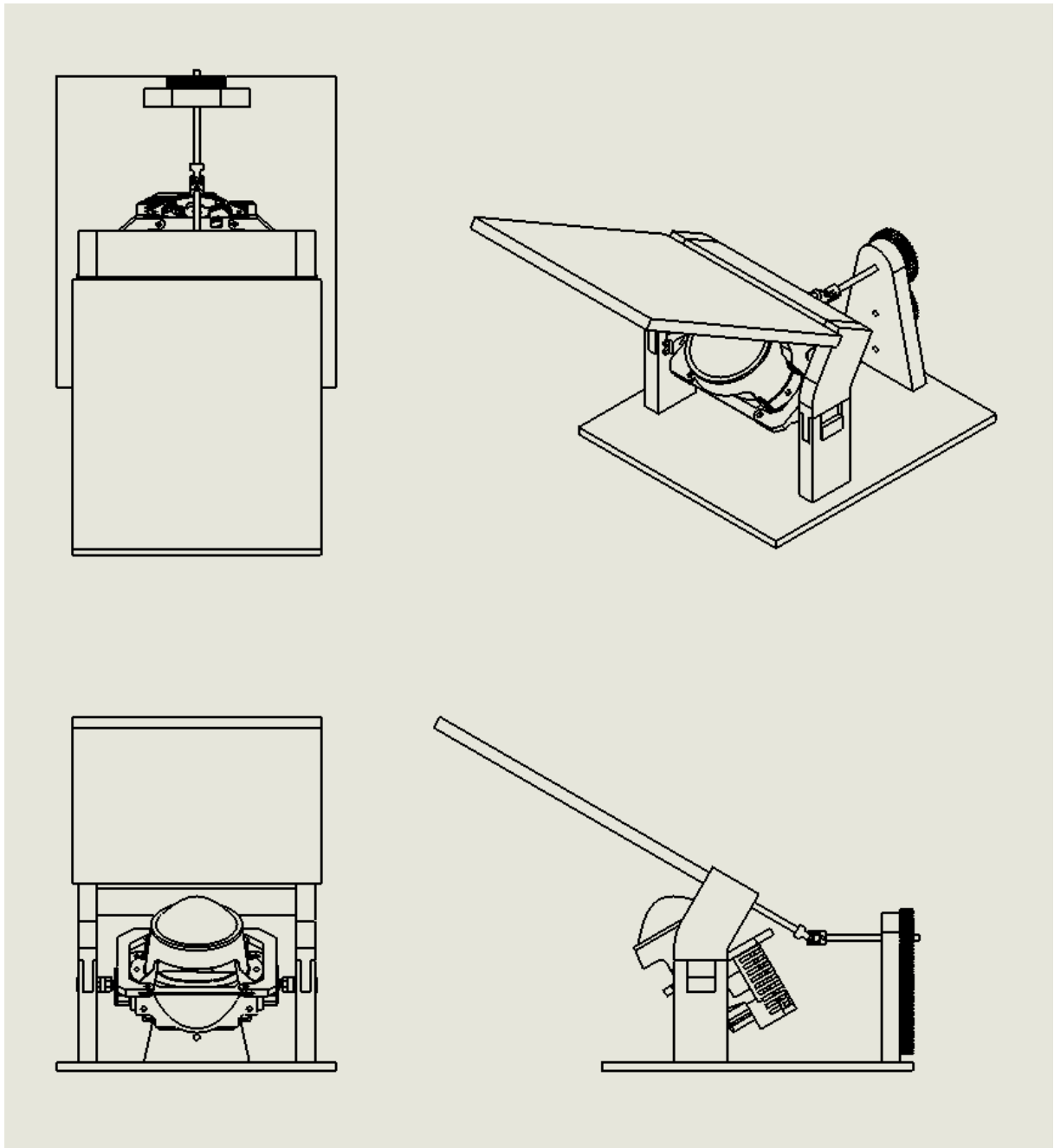


圖 6.2.3 適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統工程圖

本研究之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統使用零件如所示，投射式光源採用小系製作所之 LED 投射式光源模組，主控版則使用 Arduino Uno R3 開發板以方便進行開發，感測器選用 InvenSense 所推出之 MPU-9250 九軸感測器，致動器使用 Tower Pro 的小型伺服馬達作為調整水平之動力，鏡面部分有重量與安全性考量，因此採壓克力製鏡面，齒輪則為自製 45 齒與 25 齒正齒齒輪。

表 6.2.1 物料清單

Name	Specification	Quantity	Unit
------	---------------	----------	------

Projector headlight	Koito DM008 Power dissipation(w) : 35	1	Set
Arduino motherboard	Uno R3 ATmega328 Atmel Operating Voltage(v) : 5	1	Pc
9-axis sensor	MPU-9250 TDK – InvenSense 3-axis gyroscope 3-axis accelerometer 3-axis magnetometer	1	Pc
Servo motor	SG90 Tower Pro Speed(sec) : 0.1 Torque(kg-cm) : 1.8	1	Pc
Mirror	3.5*300*190mm	1	Pc
Spur gear	45Teeth*2 & 25Teeth*1 Bore(mm) : 5 Width(mm) : 10	3	Pcs

本研究之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統動作流程如圖 6.2.4 所示，於車輛發動時即啟動，首先判斷車輛前方踏板或後座有無負重，如果有則驅動致動器進行參數調整，如果沒有則持續探查車輛姿態是否有俯仰角，如果有則進行水平高度調整，如果沒有則持續探查車輛姿態是否有側傾角，如果有則進行高度微調補償，如果沒有則返回迴圈中。

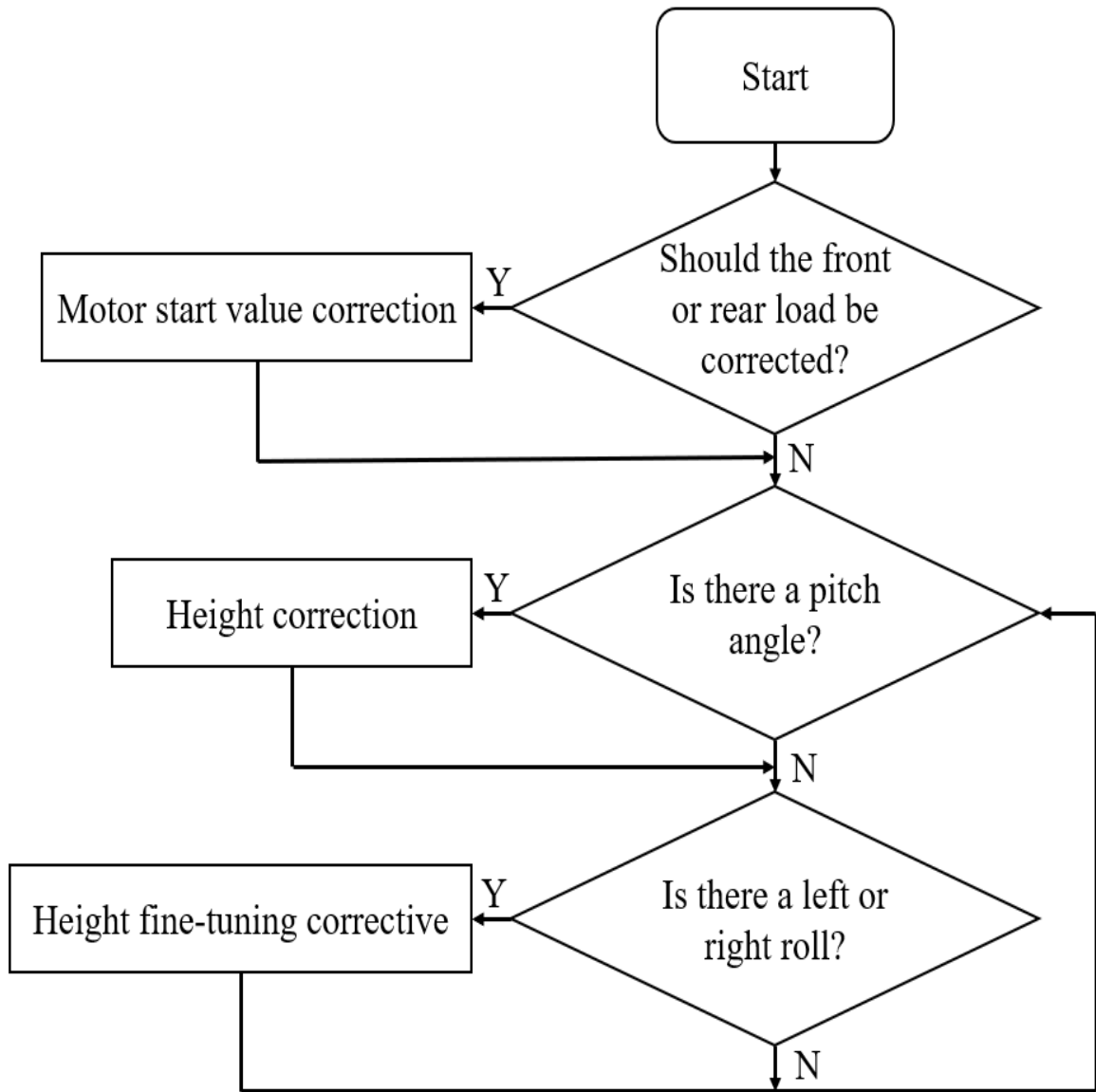


圖 6.2.4 動作流程圖

6.3 適應性照明模式

適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統作動時，頭燈系統可透過接收車輛上各部位感測器所傳遞之行車資訊或道路環境而決定所需之光束形態，如日行燈模式、基本模式、彎道調整模式、水平調整模式及遠光燈模式，進而符合實際行駛時所遭遇之路況。

1. 基本模式

當摩托車於常規狀態行駛時，頭燈無任何角度偏移，遠光燈電磁閥不作動，頭燈以近光燈做為基本模式之光型，如圖 6.3.1 所示。光學模擬之光線追跡結果如圖 6.3.2 所示，建立一虛擬平面，而此平面距離頭燈 25m，且虛擬平面設有一接收器，以描繪出散射體圖表便於觀察結果，如圖 6.3.3 所示，由散射體圖表可看出當虛擬平面距離頭燈 25m 時，頭燈所投射出光型總寬度約為 50m，出光角度約為 90° 。

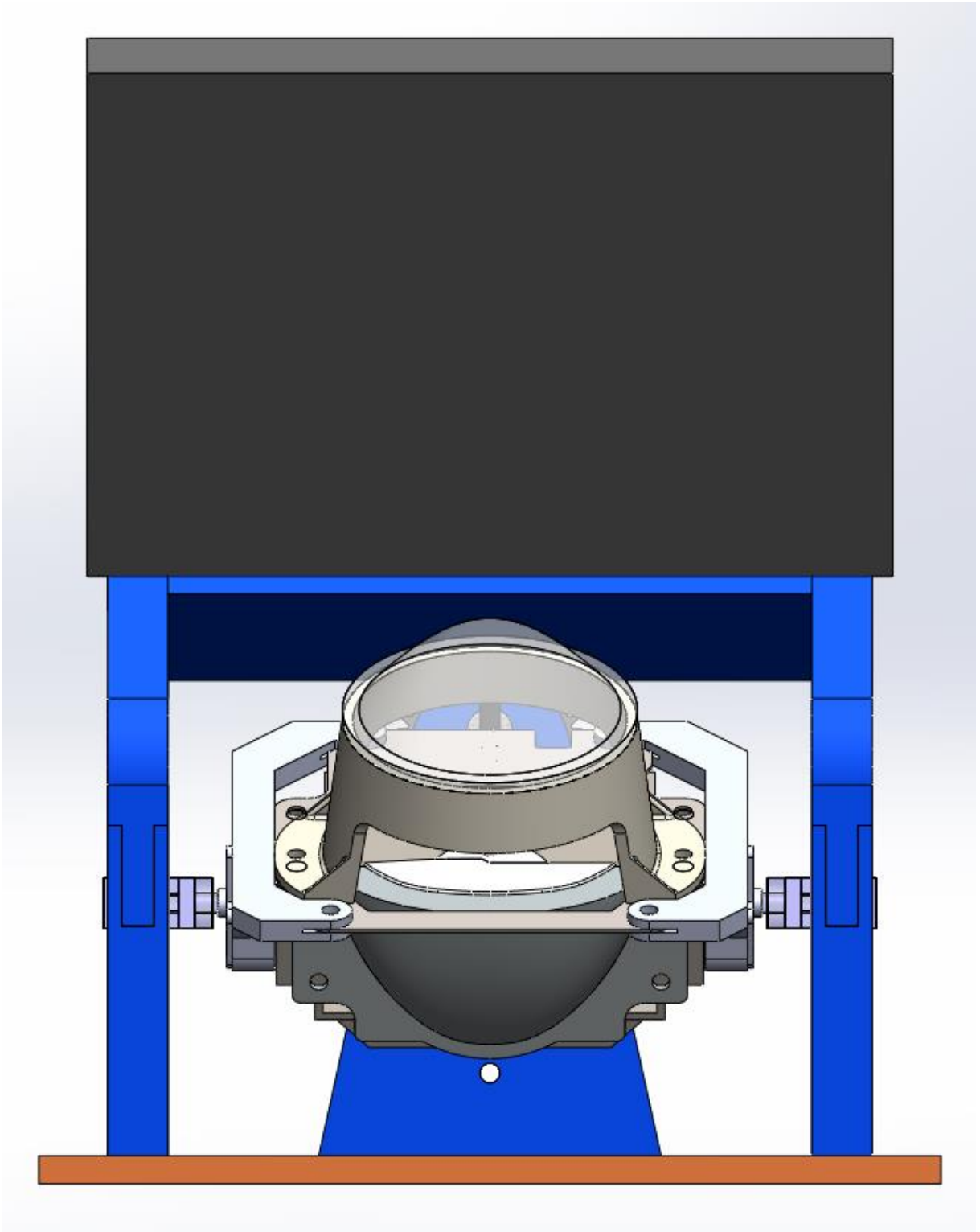


圖 6.3.1 基本模式頭燈前視圖

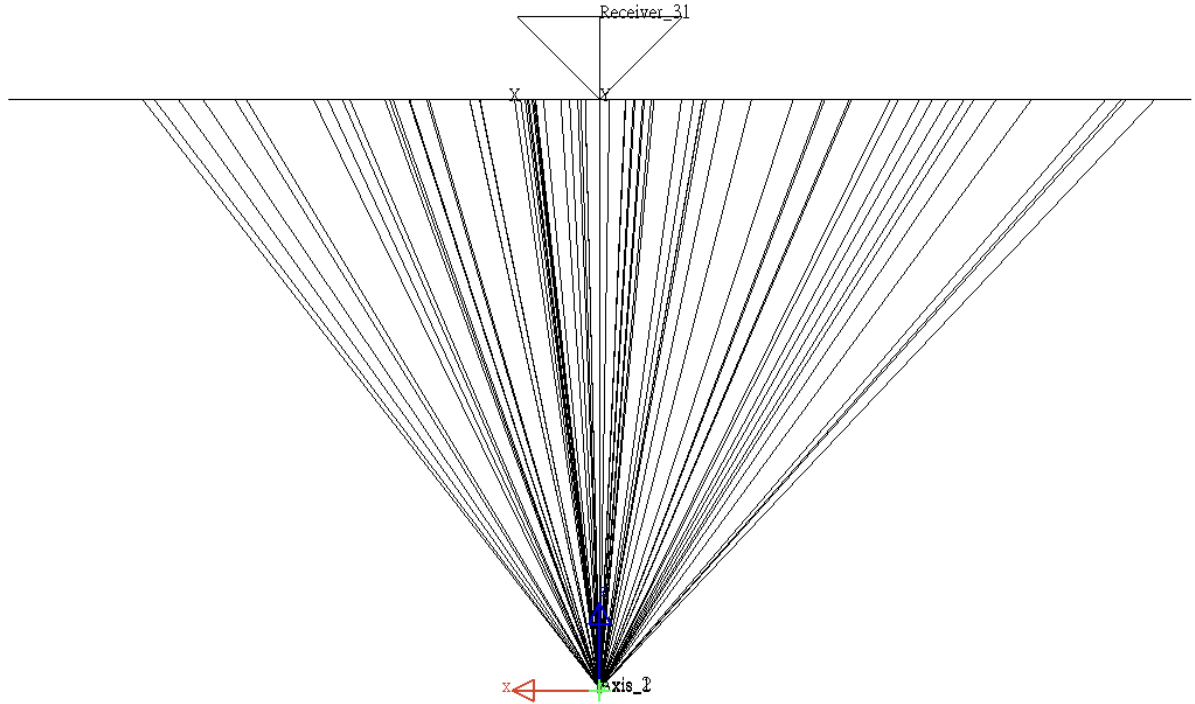


圖 6.3.2 基本模式光線追跡結果上視圖

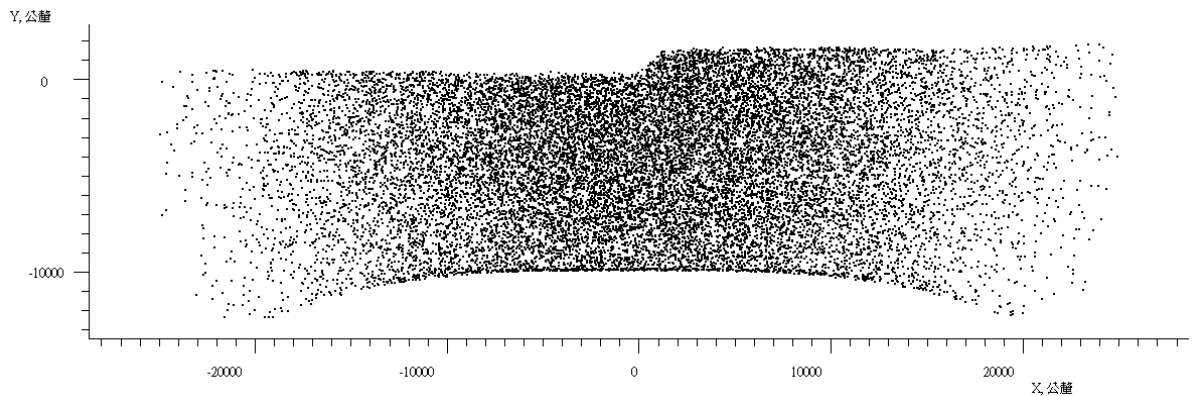


圖 6.3.3 基本模式散射體圖表

2. 彎道調整模式

當摩托車於彎道側傾狀態行駛時，頭燈則產生側傾角角度偏移，在此則以側傾角為 40° 作為範例，其餘各角度依此類推。頭燈依然以近光燈做為彎道調整模式之光型，如圖 6.3.4 所示。光學模擬之光線追跡結果如圖 6.3.5 所示，建立一虛擬平面，而此平面距離頭燈 25m，且虛擬平面設有一接收器，以描繪出散射體圖表便於觀察結果，如圖 6.3.6 所示，由散射體圖表可看出當虛擬平面距離頭燈 25m 時，頭燈所投射出光型總寬度約為 80m，出光角度約為 90° 。

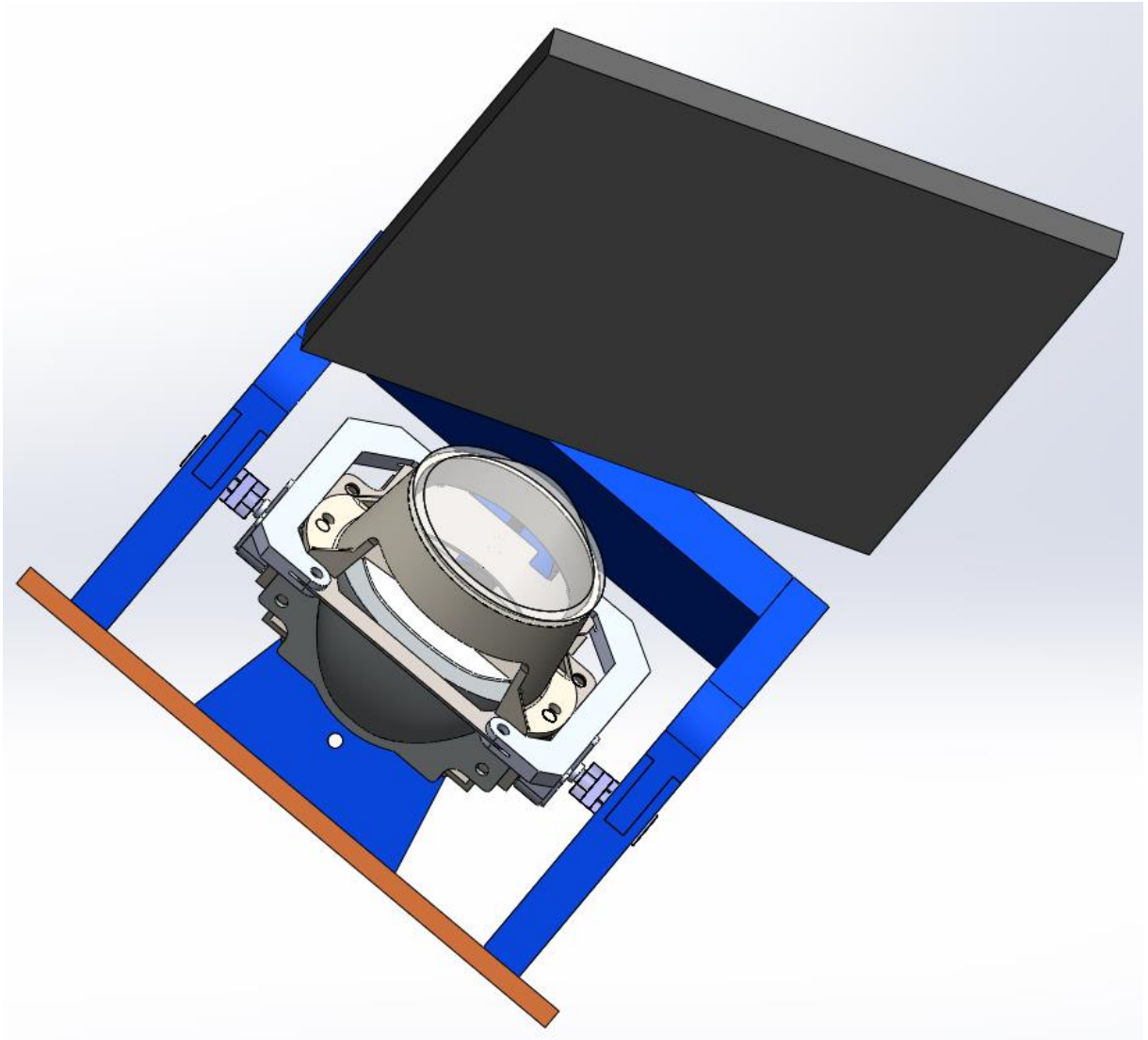


圖 6.3.4 彎道調整模式頭燈前視圖

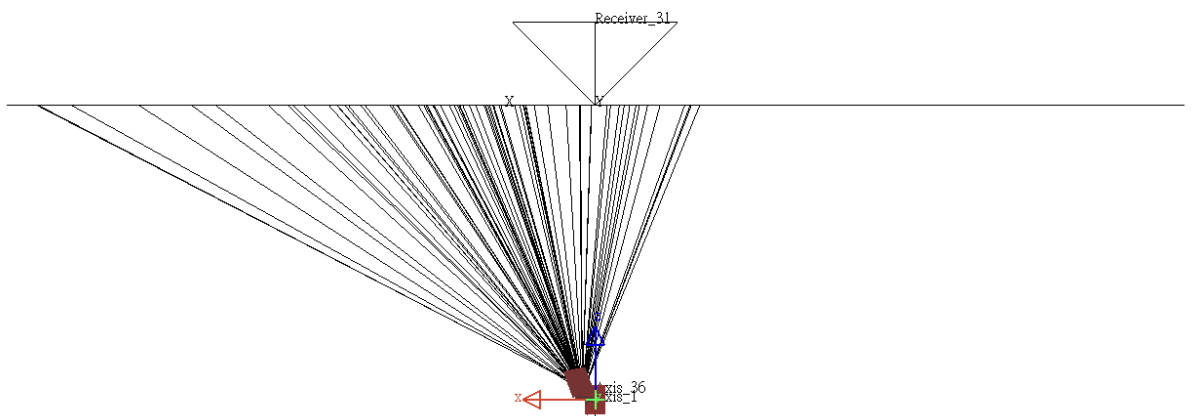


圖 6.3.5 彎道調整模式光線追跡結果上視圖

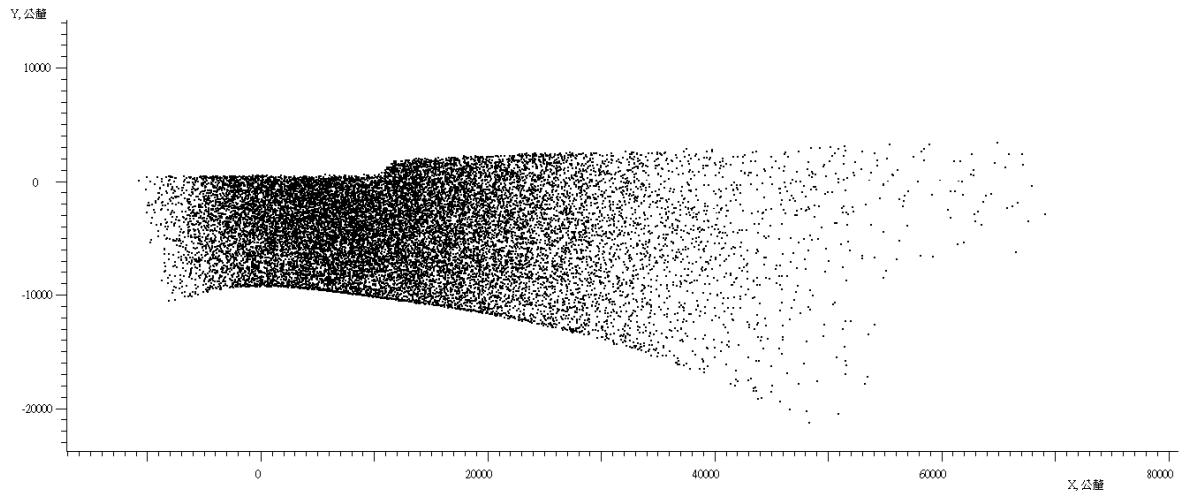


圖 6.3.6 彎道調整模式散射體圖表

3. 水平調整模式

當摩托車具俯仰角角度偏移時，頭燈系統可針對俯仰角進行修正補償，這裡以上下調整極限值為例，其餘各角度依此類推，頭燈依然以近光燈做為水平調整模式之光型，如圖 6.3.7 及圖 6.3.8 所示。光學模擬之光線追跡結果如圖 6.3.9 及圖 6.3.10 所示，建立一虛擬平面，而此平面距離頭燈 25m，且虛擬平面設有一接收器，以描繪出散射體圖表便於觀察結果，如圖 6.3.11 及圖 6.3.12 所示，由散射體圖表可看出當虛擬平面距離頭燈 25m 時，頭燈所投射出光型可向上約為 6m，而向下則可調整約為 2m。

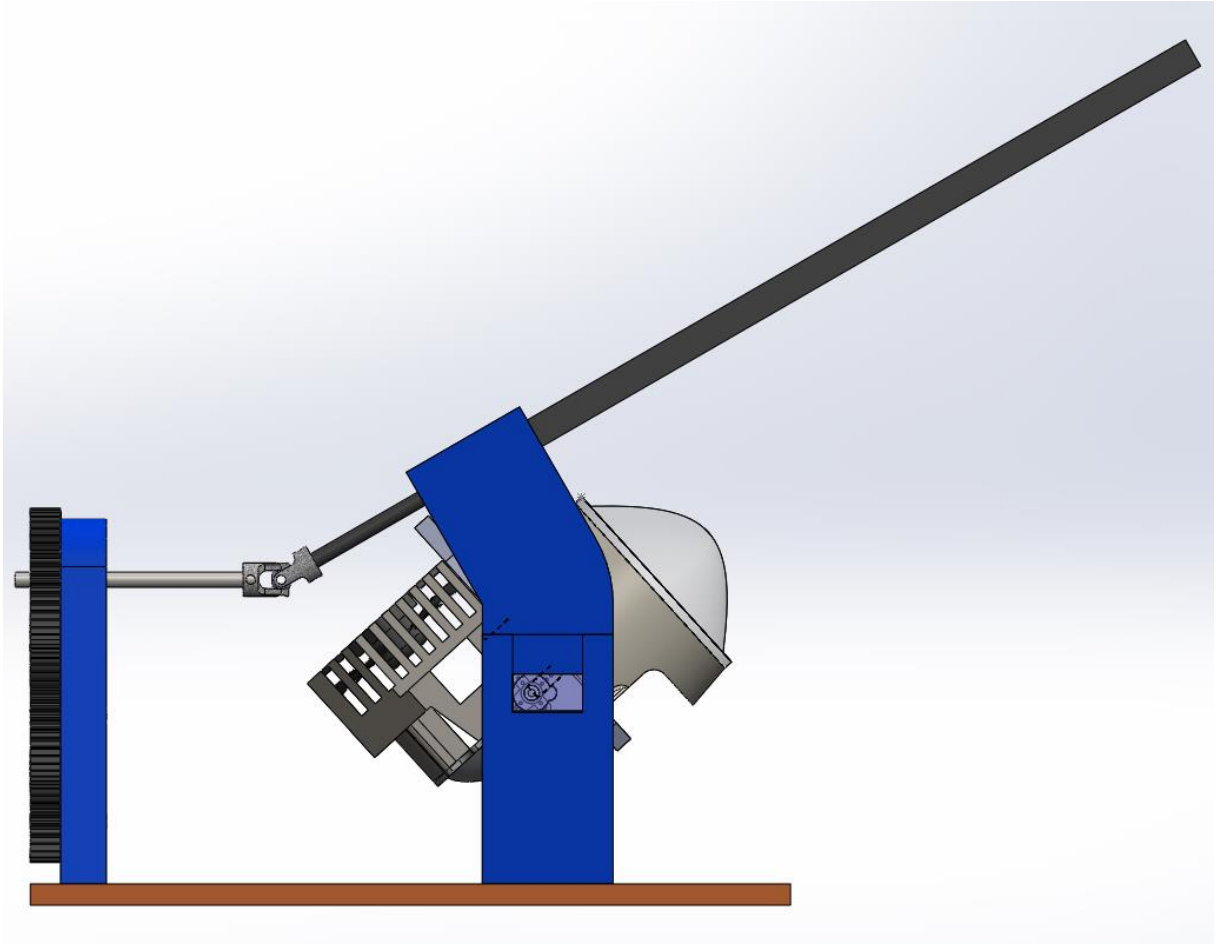


圖 6.3.7 水平調整模式頭燈側視圖(上極限)

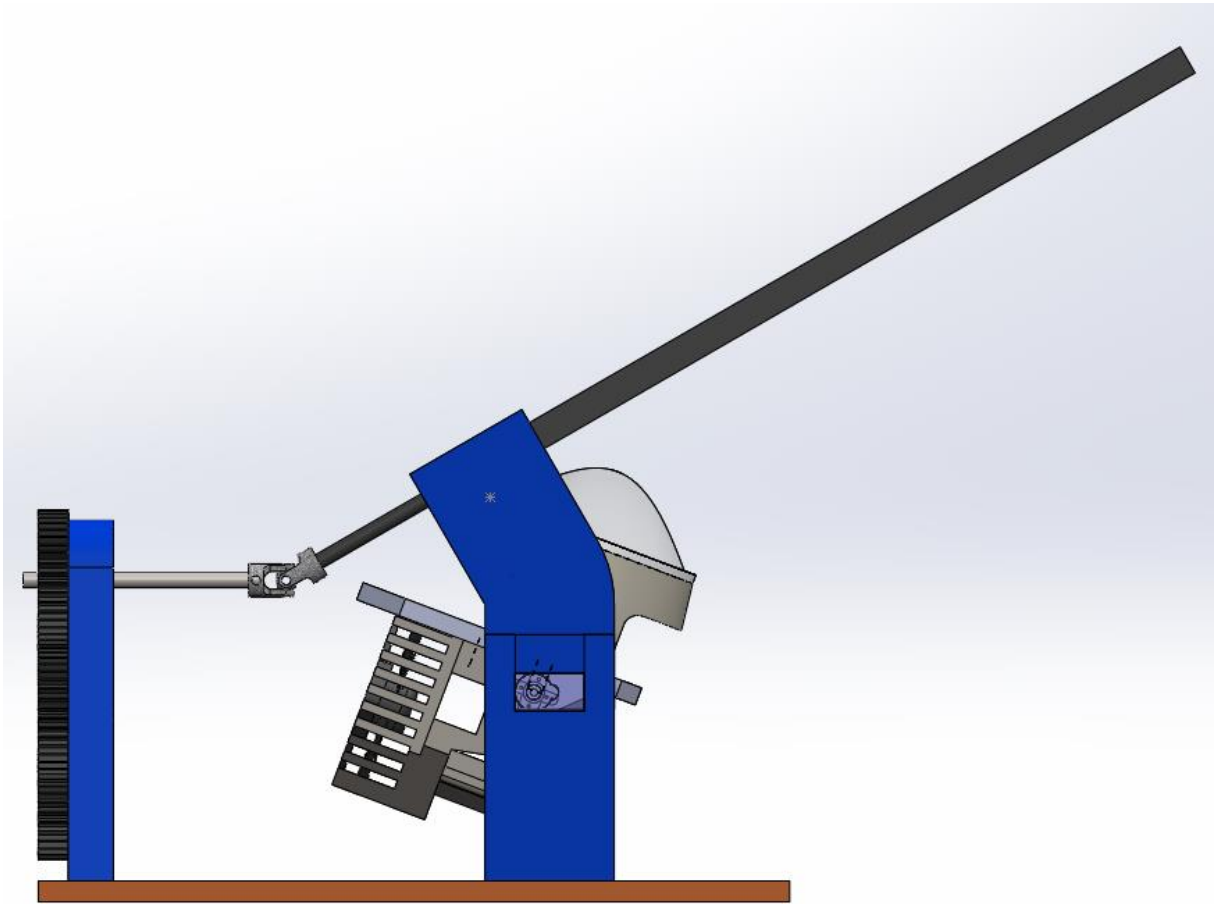


圖 6.3.8 水平調整模式頭燈側視圖(下極限)

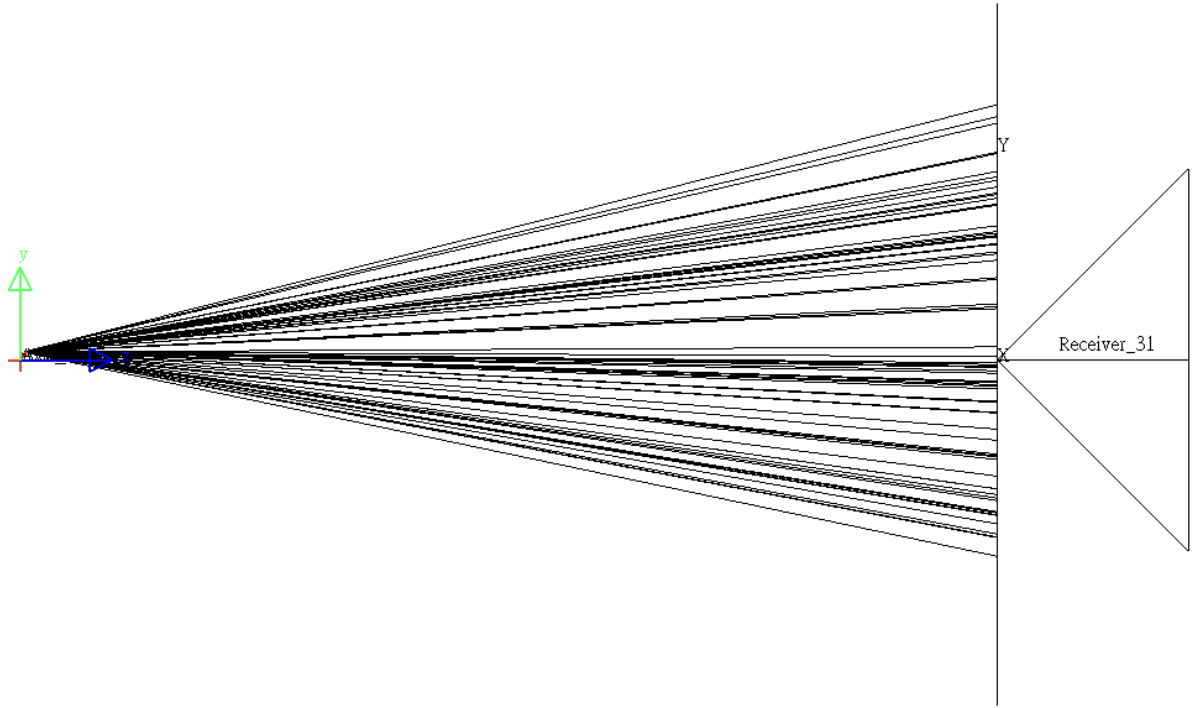


圖 6.3.9 水平調整模式光線追跡結果側視圖(上極限)

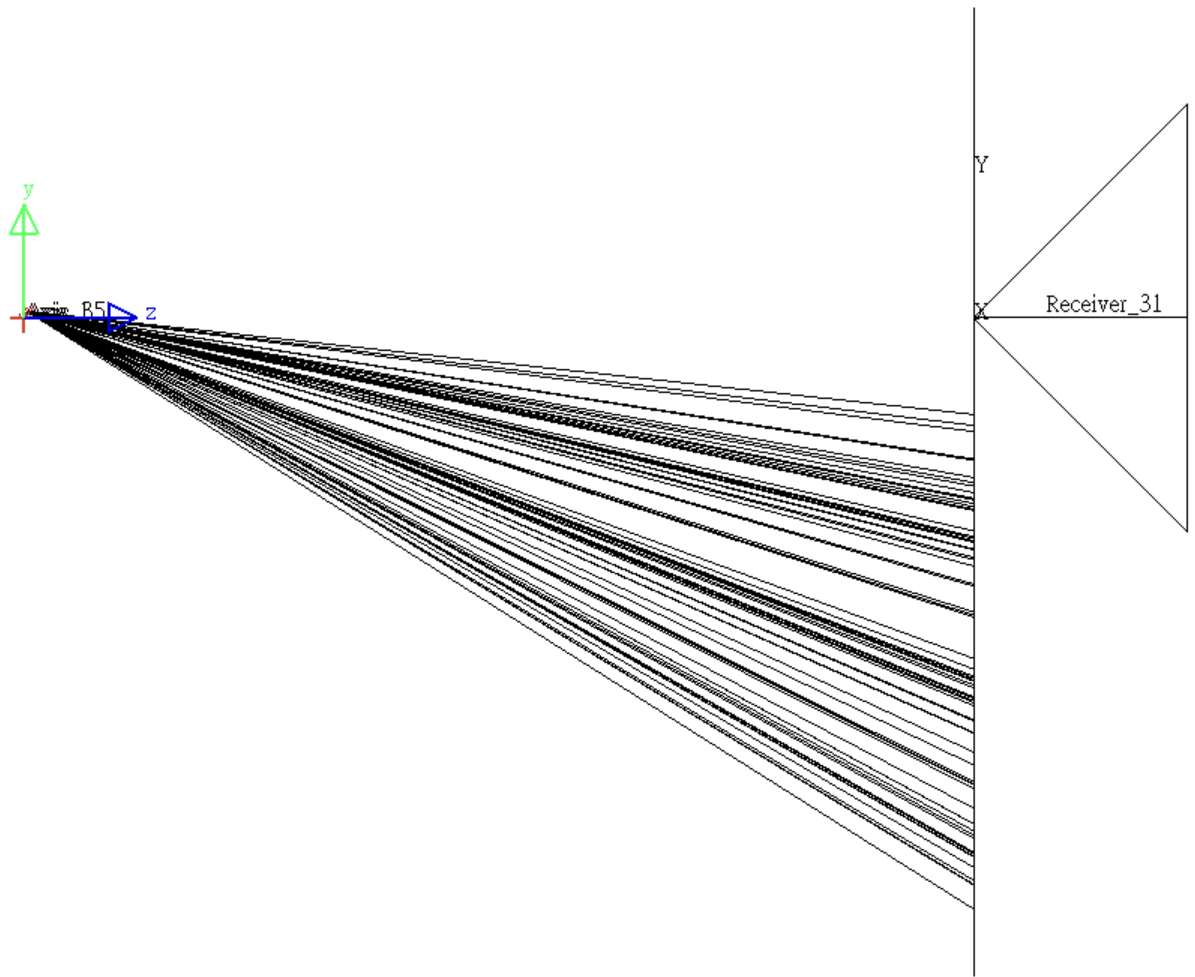


圖 6.3.10 水平調整模式光線追跡結果側視圖(下極限)

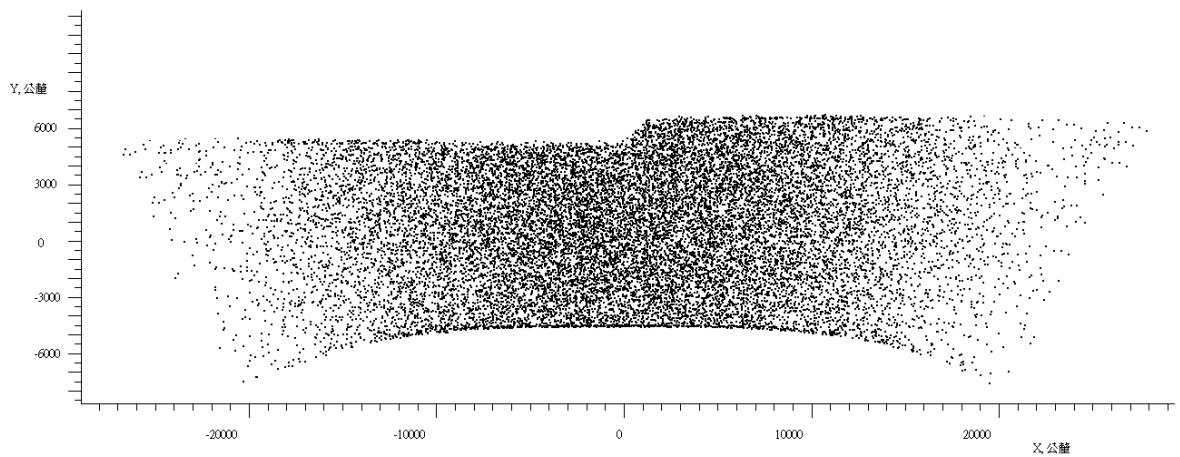


圖 6.3.11 水平調整模式散射體圖表(上極限)

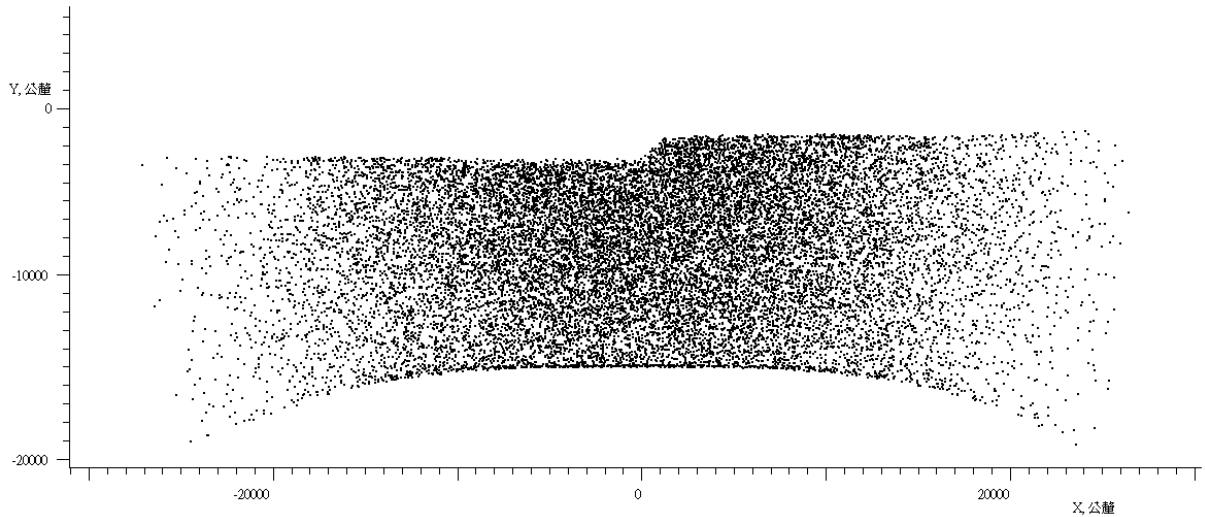


圖 6.3.12 水平調整模式散射體圖表(下極限)

4. 遠光燈模式

當駕駛須遠光燈時，頭燈系統亦可提供遠光燈支援，這裡以基本模式為例，其餘各姿態依此類推，遠光燈電磁閥作動，頭燈以近光燈為基礎額外提供遠光燈，做為遠光燈模式之光型。首先，建立一虛擬平面，而此平面距離頭燈 25m，且虛擬平面設有一接收器，以描繪出散射體圖表便於觀察結果，如圖 6.3.13 所示，由散射體圖表可看出當虛擬平面距離頭燈 25m 時，頭燈所投射出光型可在保有近光光型條件下，向上像上突出約為 6m。

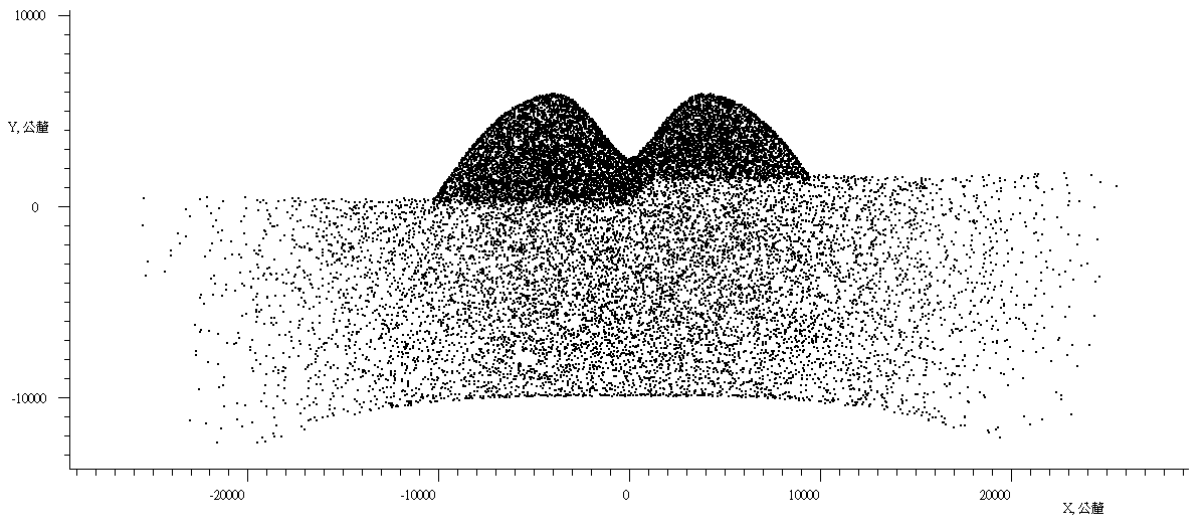


圖 6.3.13 遠光燈模式散射體圖表

6.4 結果與分析

適應性頭燈系統應用於車輛上已有一段時間，但是大部分關注在汽車方面的研究上，

對於將適應性頭燈系統應用在摩托車方面則較少有相關的探討。本研究所設計之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統，透過配重驅動混和軸旋轉，補償車輛側傾角，除了提供更佳照明彈性度外，頭燈適應性照明模式更能有效預防意外碰撞的機會，有效提升車輛行車安全。

本研究所建立之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統仍有不足之處，目前適應性照明模式並無法結合周遭路況環境變化來轉換照明模式，建議往後的研究者可於車輛搭配各種感測器或影像辨識系統來判斷路況及周遭環境，以控制頭燈變換更多樣且詳細適應性照明模式。

7. 結論探討與未來展望

7.1 結論探討

摩托車於過彎時，因為有側傾角的影響，造成車輛在彎道上照明的不足，這也是發展汽車先進照明系統和摩托車先進照明系統最大的不同處，根據國內外交通意外事故研究查和統計資料，分析歸納出台灣每年所發生之交通意外事故中，約 17% 交通事故的最大原因乃在於摩托車頭燈光束投射的方向不在行進方向的彎道上，導致摩托車駕駛視線不良而發生交通意外，本研究所提出之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統可有效改善車輛行駛於彎道之夜間照明死角問題。

藉由分析國際間摩托車頭燈照明之規範與標準，以及各主要先進國家對摩托車頭燈相當規範之要求，我們得以瞭解未來摩托車頭燈發展之趨勢，用以發展符合我國摩托車頭燈照明之規範。由研究結果可知 ECE 法規為世界各先進國家車法規調和之共同目標，適應性頭燈系統是未來摩托車頭燈照明發展趨勢，光源也將朝向 LED 發展。國內目前對摩托車 AFS 系統之法規發展卻不如預期，然而台灣目前已開放重型機車進口，且亦修改法規讓重型機車擁有與汽車幾乎相同路權，除高速公路除外。以往國內摩托車頭燈照明法規偏向於 150c.c. 以下，面對目前重型機車已可行駛快速道路等現況，且針對國內道路多彎道，且組成複雜的行駛環境，有必要儘早對摩托車提出相應解決方案，建立完整國內摩托車 AFS 系統之法規。

經由摩托車頭燈照射角度的幾何關係和摩托車煞車安全距離，來推算出不同車速下頭燈水平所需調整角度，因此增加了駕駛的反應時間，可有效增進摩托車行車安全。為了使適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統效能更加穩定，且減少駕駛不必要視覺負擔及增加照明效率，本研究透過低通濾波器來濾除不必要的高頻調整，以達到主動式摩托車頭燈系統動態調整。

摩托車側傾過彎時側傾角和偏航角會對頭燈造成影響，本研究運用摩托車動態分析軟體去模擬車輛行駛時頭燈動態，模擬當不同車速及不同道路曲率半徑時，去量測頭燈位置側傾角與偏航角之變化量，並利用曲線擬合的方法，建立出控制頭燈之數學模型，由於模擬條件更符合摩托車行駛時實際情況，因此利用模擬結果控制頭燈側傾角與俯仰角調整其準確率更高。

根據摩托車動態模擬結果設計出創新之適應性二軸三維引力式摩托車頭燈系統，可藉由引力方式驅動混和軸，使得頭燈得以進行連續三維且連續多重照明角度變化，改善反應速度慢且成本高之多馬達為驅動架構的傳統主動式頭燈。本創新摩托車適應性頭燈系統可使光源模組與鏡面隨車輛俯仰、轉彎、側傾及車速之不同動態與不同道路環境而改變其照明方向，且可於俯仰角、側傾角及偏航角三維度方向動態調整產生連續性投射照明角度，因此具有較大之照明涵蓋範圍，以提供駕駛更安全的照明視野。

7.2 未來展望

本研究由於缺乏實車測試平台，實驗結果尚處於靜態測試階段，未來研究者若能以實車進行動態測試，藉由實車試驗的方式驗證本研究所提出之控制策略，若發現應用於實車動態之問題，便可針對有瑕疵部分進行改善，並以此為基礎使控制策略更為完善。將來也可進一步將適應性頭燈結合影像辨識系統，可有效預測並判斷前方路況資訊，達到即時變換頭燈照射光型目標。

8. 參考文獻

- [1] 中華民國交通部. "道安會統計." www.motc.gov.tw (accessed).
- [2] P.-W. Chiu *et al.*, "Ambulance traffic accidents in Taiwan," vol. 117, no. 4, pp. 283-291, 2018.
- [3] M. S. A. Chowdhury and A. M. Rahman, "Electric efficiency of the lighting technology of auto industry: recent development and future prospect," in *2016 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, 2016: IEEE, pp. 1-5.
- [4] 中華民國中央研究院. "地圖數位典藏整合查詢系統." <http://map.rchss.sinica.edu.tw/> (accessed).
- [5] P. Thaddeus, L. J. Centenial, and F. G. Dunn, "Safety headlight," ed: Google Patents, 1924.
- [6] S. A. W. Borzendowski, A. A. S. Sewall, P. J. Rosopa, and R. A. Tyrrell, "Drivers' judgments of the effect of headlight glare on their ability to see pedestrians at night," *Journal of safety research*, vol. 53, pp. 31-37, 2015.
- [7] 財團法人車輛研究測試中心. "我國車輛安全法規管理項目及演進." <https://www.artc.org.tw/> (accessed).
- [8] UNECE. "The United Nations Economic Commission for Europe." <https://www.unece.org/> (accessed).
- [9] FMVSS, "United States Department of Transportation," 2019. [Online]. Available: <https://www.nhtsa.gov/>.
- [10] SAE. "Society of Automotive Engineers." <https://www.sae.org/> (accessed).
- [11] ECE, "Uniform provisions concerning the approval of category L3 vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices," no. 53, pp. 14-30, 7 August 2013.
- [12] ECE, "Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles," no. 6, pp. 6-13, 11 July 2017.
- [13] ECE, "Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing-beam or a driving-beam or both and equipped with filament lamps and/or light-emitting diode(LED) modules," no. 112, 9 January 2013.
- [14] ECE, "Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting a symmetrical passing beam or a driving beam or both and equipped with filament, gas-discharge light sources or LED modules," no. 113, 20 December 2012.
- [15] N. H. T. S. ADMINISTRATION, "Lamps, Reflective Devices, and Associated Equipment LABORATORY TEST PROCEDURE," no. FMVSS 108, December 4, 2007.

- [16] 中華民國國家標準, "機器腳踏車燈光信號裝置標準," no. 14501-D2202.
- [17] 公路法, "道路交通安全規則-車輛燈光與標誌檢驗規定," no. 第三十九之附件七, 2010年2月27日修正.
- [18] P. P. Citroen. "Citroen DS Workshop and Repair manuals." (accessed.
- [19] P. P. Citroen. "Citroen 2CV Workshop and Repair manuals." (accessed.
- [20] Mercedes-Benz. "E-Class." www.mercedes-benz.com (accessed.
- [21] B.-S. Hung, "Study of Motion Stability Simulation and Control of Variable Centroid Vehicle," master, Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University, 2010. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/39yrhz>
- [22] 王宗利, "適應性汽車前方照明二維控制系統之研製," 碩士, 自動控制工程所, 逢甲大學, 台中市, 2007. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/85v744>
- [23] 賴長嵩, "智慧型多感測器之適路性汽車前方照明系統之研製," 碩士, 自動控制工程所, 逢甲大學, 台中市, 2008. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/78fx45>
- [24] T. K. SUGIMOTO ATSUSHI, ; MOCHIZUKI KAZUMA, ; TAKIGUCHI TSUTOMU, "Vehicle lamp and rotary driving apparatus," Japan, 2011.
- [25] 黃坤照, "可自動修正投射角度的載具頭燈," 中華民國 Patent 發明專利第 I649224 號 2017/02/11.
- [26] 黃楷極, "可自行轉向頭燈控制結構," 中華民國 Patent 新型專利第 M362134 號, 2009.
- [27] T. Inaba, S. Watanabe, and Y. Yamada, "LED Headlamp Development for Mass Production," 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2008-01-0339>.
- [28] B. Kang, K. Park, B. Yong, and H. Kim, "Application of LED Headlamps in S. Korea," 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2007-01-3516>.
- [29] L. Lukacs, P. Rodriguez, I. Pepe, L. Simões, and M. Embiruçu, *Benefits and implications of the LED AFS on Heavy Trucks in the South American region*. 2008.
- [30] L. M. Rice, "LED Illumination for Commercial Vehicles," 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2010-01-1990>.
- [31] 蕭耀榮 and 侯竣方, "適路性機車後視鏡系統之設計與控制," (in 繁體中文), *技術學刊*, vol. 28, no. 3, pp. 163-173, 2013.
- [32] 鄭文欽, "適路性機車頭燈系統之設計與控制," 碩士, 車輛工程系所, 國立臺北科技大學, 台北市, 2008. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/mw9ppv>
- [33] 歐育佳, "適路性先進汽車頭燈系統之建立," 碩士, 車輛工程系所, 國立臺北科技大學, 台北市, 2007. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/dw65qr>
- [34] 沈柏辰, "適路性機車頭燈系統之建立與動態實體測試," 碩士, 車輛工程系所, 國立臺北科技大學, 台北市, 2011. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/3sg235>
- [35] 莊文仁, "整合式適路性機車頭燈與後視鏡系統," 碩士, 車輛工程系所, 國立臺北

- 科技大學, 台北市, 2013. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/n4ed49>
- [36] V. Cossalter, *Motorcycle dynamics*. Lulu. com, 2006.
- [37] 张殿业, "驾驶员动态视野与行车安全可靠度," 2000.
- [38] 中華民國交通部. www.motc.gov.tw (accessed.
- [39] 日本本田安全運轉普及本部-超重型摩托車的特性. www.honda.co.jp (accessed.
- [40] 劉念冀 and 蕭得聖, "車輛輪胎與路面摩擦力之即時估測," 2010.
- [41] 溫家駿 and 吳宗修, "減速設施之效能及對乘員舒適度感受之研究," 2007.
- [42] T. Aoki, H. Kitamura, K. Miyagawa, and M. Kaneda, "Development of active headlight system," SAE Technical Paper, 0148-7191, 1997.
- [43] 姚佳億 and 汪進財, "駕駛者安全關鍵資訊之探究," 2011.
- [44] 孫璋英, "汽機車單一車輛事故駕駛人死亡勝算模式之研究," 碩士, 統計學系, 國立臺北大學, 新北市, 2004. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11296/jfbytu>
- [45] S. Nakano, T. Shimada, A. Nakaya, M. Dohmoto, and K. Nagata, "Development of Advanced Safety Motorcycle," SAE Technical Paper, 0148-7191, 2006.
- [46] 內政部營建署. "一般道路曲率半徑設計規範." www.cpami.gov.tw (accessed.