

第十一屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA11-427

作品名稱：台中市區機車怠速所引發之碳排放量
相關問題探討

姓名：周家暉

關鍵字：節能減碳、碳排放量、機車怠速

摘要

本研究目的乃針對機車騎士行經十字路口遇紅燈熄火一事，提出相關數據及進行推論，並提出相關建議。

- 一、機車騎士行車若遇紅燈應在「最佳秒數」內應熄火，避免因怠速而對環境造成多餘的汙染，以達節能減碳的目的。
- 二、機車騎士行車若遇紅燈應在「最佳秒數」內熄火，全台每年可節省為數不少的燃油資源及金錢。

本研究以台中地區為調查區域，根據台中市政府交通局與各方資料的整合最後推導出全台機車騎士行車遇紅燈在「最佳秒數」內應熄火，可減少多少碳排放量、油耗及花費。並提出相關建議。

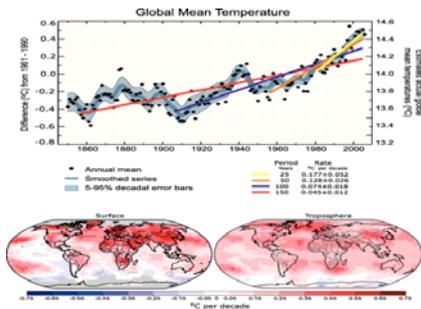
當都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，在冷車的情況下，每年每一輛機車每年也可省下近 45 元的油錢；在熱車的情況下，每年一輛機車每年也可省下近 77 元的油錢。若假設一次紅燈的秒數為 x 秒，則機車騎士可由機車狀態判斷應於 cx 秒時熄火，也就是冷車狀態下的機車應於 $0.27x$ 秒前熄火，熱車狀態下的機車應於 $0.01x$ 秒前熄火，其熄火的效益，也就是油耗量與碳排放量，才會大於機車怠速時的狀態。

關鍵詞：節能減碳、碳排放量、機車怠速

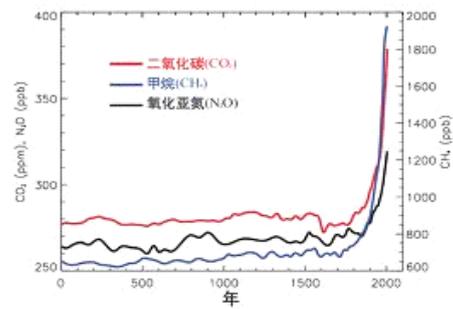
壹、研究動機

自從工業革命開始，由於新的生產工具問世，人們開始使用煤、石油等能源來取代以前的人力、獸力，這看似既方便又有效率，但這些能源燃燒後的產物—甲烷和二氧化碳，卻也造成了對環境莫大的傷害！近年來，不論從報章媒體，乃至是科學書刊等，都不難發現一個殘忍的事實—甲烷、二氧化碳濃度不斷升高且屢創新高（詳見圖一[1]、圖二[2]），造成今日耳熟能詳的「地球暖化」、「溫室效應」，或許有些人會認為不過是氣溫上升一兩度，但他們並不知道地球暖化會造成不正常的氣候變遷，像是因為各地氣候改變造成糧食的產量大減，或是導致極地冰原溶化造成海平面上升而淹沒較低窪的陸地、衝擊地勢較低國家及多數國家的精華區，吐瓦魯就是對我們人類一個嚴重的警惕。想必大家都有看過正負二度 $^{\circ}\text{C}$ 的紀錄片吧！根據其影片中所推估：如果地球上升 1°C ，那麼部分的野生動物將會瀕臨滅絕；如果地球上升 2°C ，那麼30%的動植物將會絕跡，各地乾旱、饑荒頻傳，人類將面臨生存的危機；如果地球上升 3°C ，30%的海岸溼地被淹沒，上億人無水可用；如果地球上升 4°C ，亞洲，非洲，低窪三角地每年洪患將不絕；如果地球上升 5°C ，超過40%動植物會滅絕；如果地球上升 6°C ，人類及大多數物種都將滅絕。如果我們持續以鴛鴦心態去看待而不願正視環境危機，那麼海平面、糧食、水資源的危機將會一一浮現，而且只會越來越嚴重！

有鑑於此，基於為地球盡一份心力的理念下，我們決定從日常生活中響應節能減碳。由於我們每天都必須要搭乘交通工具上學，所以自然而然就想去探討交通工具對環境的影響。每次走在路上或在等公車時，都可以聞到汽機車所排放的廢氣，（見圖二）這些廢氣不但很難聞，對我們的環境的危害更是不用說，所以我們想找出一個解決之道，可以降低交通工具排放的廢氣。



圖一 全球溫度變化圖



圖二 二氧化碳和甲烷的變化圖

最近，我們在台南市環境保護局網站上看到了「反怠速自治條例」的宣導[3]（詳見附錄一），已在97年1月1日起全面推動。其中第三條寫著：「本自治條例所稱怠速，係指機動車輛在一定場所停車等候，引擎持續運轉之情形；所稱反怠速，係指機動車輛在一定場所停車等候，引擎持續運轉不得逾三分鐘。」第五條：「機動車輛於一定場所，停車等候逾三分鐘者，應關閉引擎。」倘若機車怠速不熄火，依照條例所述，最高可罰到新台幣兩千元！而我們覺得這是一個很好的立法可以有效的減少汽機車的廢氣排放量，但目前全台並未針對紅燈熄火對汽機車的廢氣排放進行長期評估。因此，我們想試著探討「等紅燈時機車熄火」的小舉動是否有助於減少機車廢氣的排放量與油耗？進而改善我們的環境呢？

貳、研究目的

一、名詞解釋

針對本研究的進行，在研究目的及問題提出之前，對以下的名詞做些解釋：

- (一) 尖峰時段：本研究之尖峰時段為早上 9 點到 11 點，以及下午 5 點到 7 點。
- (二) 怠速：一般常稱為「slow」或是「idle」，指的就是當引擎啟動後完全不加油門狀態下的引擎轉速。
- (三) 最佳秒數：是指機車在停等紅燈時於綠燈前該秒熄火，其熄火的效益，也就是油耗量與碳排放量，將大於怠速的狀態。
- (四) 最佳紅燈秒數：是指機車在停等紅燈時於綠燈前幾秒的秒數，但其必須符合效益，且在該秒內所有機車的總碳排放量會最少的秒數。

二、本研究將探討下列兩大主題，相關細項如下說明：

- (一) 尖峰時段之大都市之機車騎士於紅燈結束前幾秒，其熄火的效益將大於怠速時的狀態？
 1. 一週期紅綠燈之紅燈每秒因號誌而停下的機車數多寡為何？
 2. 不同 cc 數與車齡之機車怠速油耗及啟動時間為何？
 3. 每位機車騎士每天可能遇到的紅燈個數為何？
 4. 機車的最佳秒數為何？
- (二) 當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，每年可因此省下多少資源？

即當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，每年可因此降低若干百分比的油耗量、油費與碳排放量？

參、研究設備及器材

一、硬體部分：

各種 cc 數及車齡的機車數輛（三陽 Mio 100）、機車診斷器、電子磅秤（精度：0.1 克）、計時器、鉛酸電池、供油幫浦等各種 cc 數及車齡的機車數輛（三陽 Mio 100）、機車診斷器、

電子磅秤（精度：0.1 克）、計時器、鉛酸電池、供油幫浦等(見圖三至圖六)。

二、軟體部分：

Excel 2007 及 Geogebra 4.0 數學軟體從事計算工作及建立模型。



圖三：供油幫浦



圖四：鉛酸電池



圖五：實驗裝置

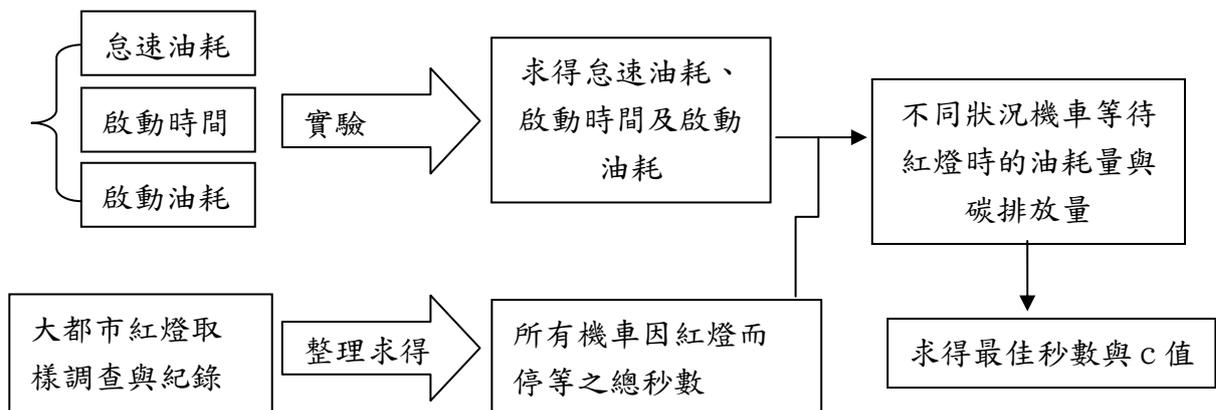


圖六：機車內部實驗裝置

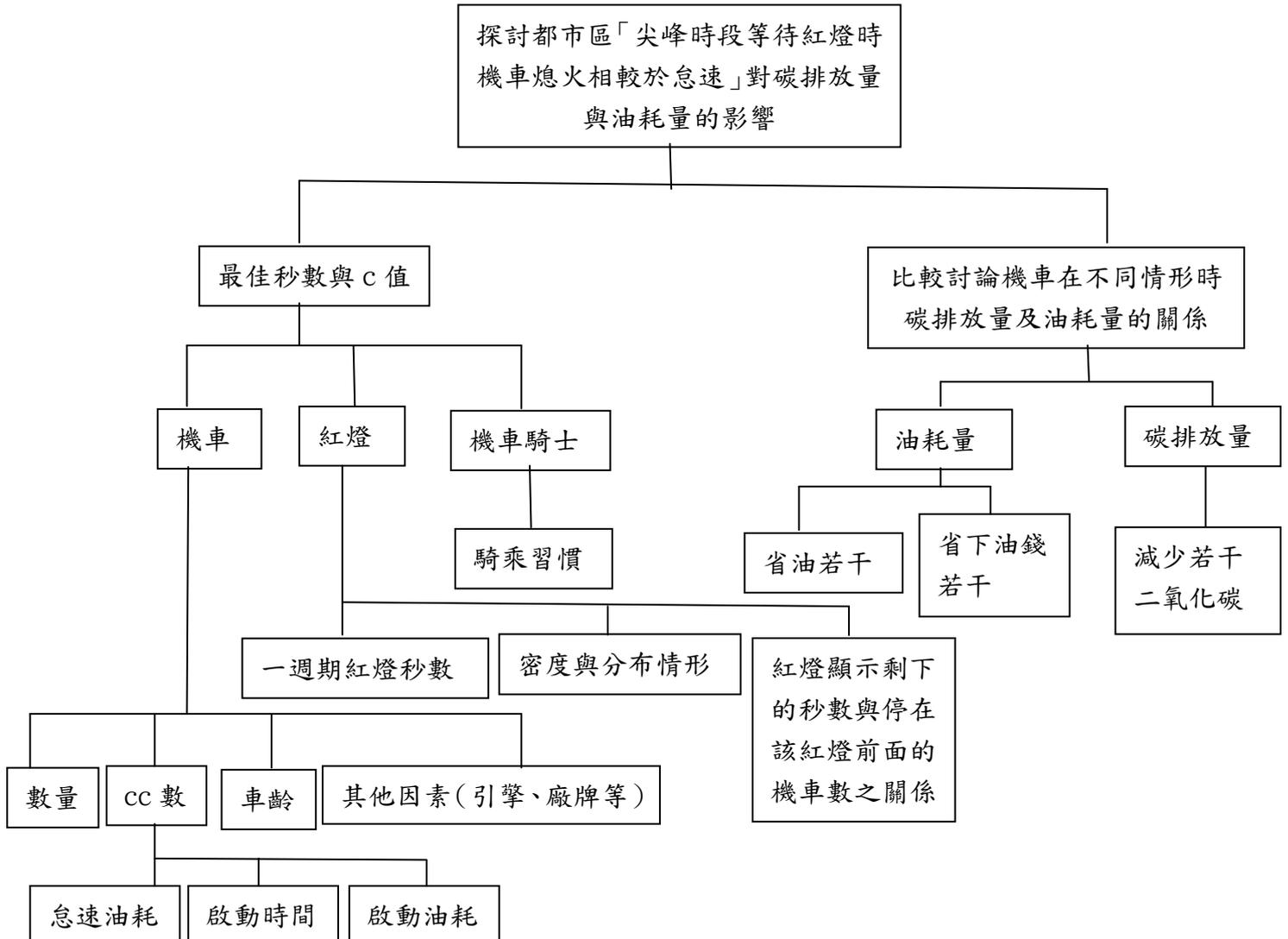
肆、研究過程或方法

一、研究流程圖

(一) 實驗數據與計算之流程圖



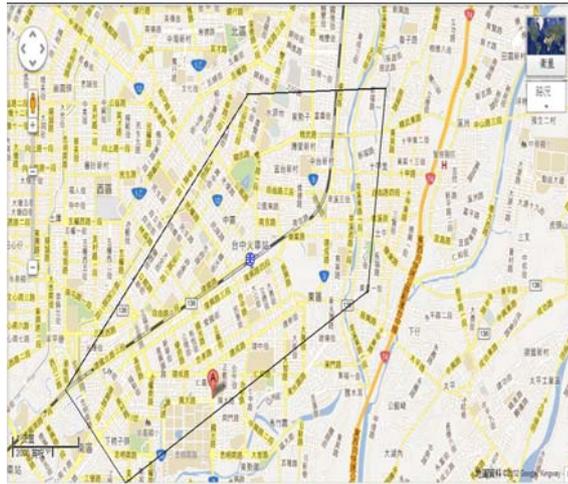
(二) 實驗數據與計算之流程圖本研究總架構



二、文獻資料的研究與實驗分析

根據本研究的題目：探討大都市尖峰時段「等待紅燈時機車熄火相較於怠速」對全台碳排放量與油耗量的影響。我們的調查研究範圍原本應該是擴及至全台的，以求研究的結果更能符合現實的狀況。但是基於其適切性與可行性等諸多因素的考量，我們決定以大台中地區做為取樣的地點，並對該地區的機車騎士做取樣與分析，來推論對整個台灣的調查分析。其原因有：

1. 大台中地區的城鄉差距極大，有將近 85%的土地屬於非都市土地，與全台的城鄉差距情況相仿[8]，故就考量以大台中地區做為我們接下來研究的範圍。我們選定的台中市區域如圖七所示，其中圖中左上角為台中科學實驗區，右下角為台中市區的舊工業區，這兩個有工作區位的優勢，而被我們所選定地點十五個路口(圖中框起區域)則為住宅區，左下角為高鐵，所以有交通區位的優勢，而且這個區域也算台中市區比較繁華的地點，因此交通量也會比較大，因此我們選定此區域來進行本研究。



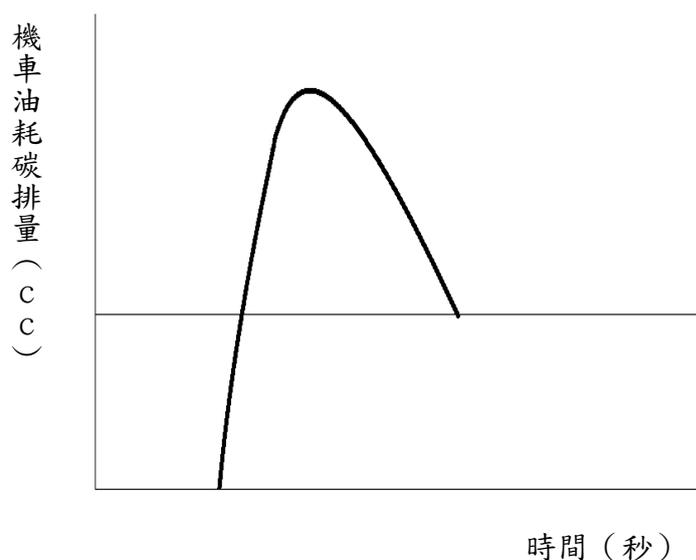
圖七、本研究研究範圍

2. 此次的研究範圍大台中地區，也恰與提供協助給我們的中興大學盧昭暉教授實驗室距離相近，為了本研究具體的信度與效度，進而使本研究可以應用及推廣，且和教授討論之後，我們將以大台中地區做為此次的研究取樣範圍。

選定研究範圍後，為了計算出我們所需要的數值和模型，我們分成幾個部分來做深入的探討，分述如下：

(一) 怠速時碳排放量與時間的關係推估

根據研究情境描述，當機車騎士看到紅燈亮起時通常會怠速，而此時怠速的油耗將保持一定。反之，若這時機車騎士等停紅燈時熄火，則油耗為0。可是當機車啟動的那一個剎那，因點火起動所需之能量較大，其瞬間油耗也會增大，經過一段時間後則又慢慢的恢復成平常的油耗量，如圖八所示。



圖八 機車油耗對時間的函數圖形

因此假設 x 為一次紅燈的秒數， T 是機車騎士等紅燈時怠速的時間， c 是一常數，若

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T}{x} < c \text{ (常數)} \text{---熄火的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} > c \text{ (常數)} \text{---怠速的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} = c \text{ (常數)} \text{---熄火的行為和怠速的行為油耗與碳排放量相同} \end{array} \right.$$

紅燈時因此 c 常數就成為我們接下來實驗與數據分析要求出的目標，進而推出不同紅燈情況的 T 值。

(二) 探討有關機車方面的相關事項與變因

由於不同情形的機車，所耗的油量也不盡相同，我們將此主題分成幾個部分討論：

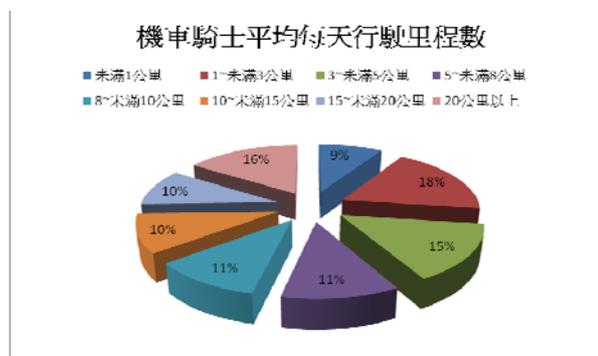
首先，近十年（民國 91 年到民國 100 年）的總機車輛的輛數 [9]，統計至今年六月，全台大約是 14,998,973 輛。不過此數值只能代表該時間全台的總機車數，因此我們將近幾年全台的總機車數量做整理與平均來推估未來的機車輛數。經過計算後近十年全台機車平均為 13,591,360 輛。另外，根據經濟部能源局的報告指出，本研究的研究範圍大台中地區，其機車數量為 1,690,312 輛[10]。

不過根據交通部統計處的調查，真正有在路上行駛的機車輛數大約占全部機車掛牌數的 80.7%，換句話說，每五台有掛牌的機車，真正會在路上行駛的其實約只有四台。但因為該資料中並無明確指出是何種類型的機車，因此本研究假設各種行駛機車的車種皆有相同的實際使用比例，並將此比例列入以後機車數的計算[7]。

$$\text{該年實際行駛機車總數} = \text{該年總機車數} \times 80.7\%$$

(三) 探討有關紅燈方面的相關事項與變因

從相關的研究報告指出，可推知台灣機車騎士平均每天行駛的里程數為 9.2 公里，如圖八[12]。也就是說，每位機車騎士每天會行駛 9.2 公里的路程。



圖九 機車騎士平均每天行駛里程數

接著，我們從台中市所有的紅綠燈中做取樣分析，取樣的方法為部落抽樣，至於我們的

記錄方法在每個路口大致相同，我們每次紀錄者約一到兩人，分別站在紅綠燈的兩端一邊計時，一邊紀錄機車的數量。方法為每十秒紀錄一次在這一段時間內總共有多少車輛因此號誌而停下，再將兩邊記錄的車輛數據相加後便完成一次的紀錄。我們將本研究取樣的路口記錄數次並整理，列舉出其中一個路口的函數圖形說明，其結果分別討論如下：



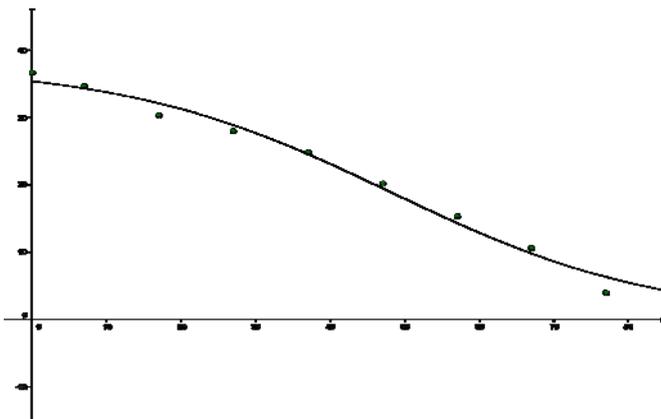
圖十 路口調查紀錄



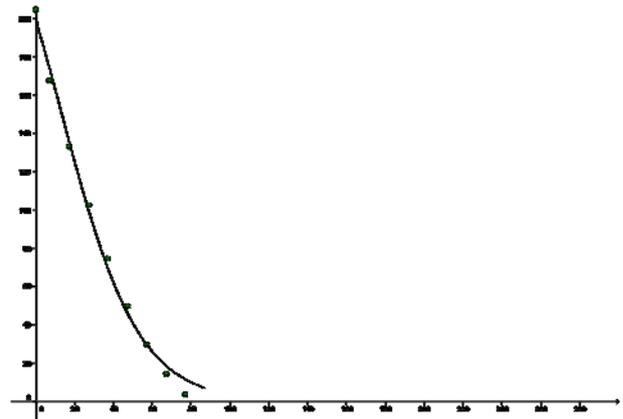
圖十一 路口調查紀錄

以自由路口為例

自由路口的紅燈秒數為 87 秒，禮拜日則變為 70 秒。值得注意的是，因為大部分紅燈禮拜日的紅燈秒數與其他日不同，因此本研究將少數日期紅燈秒數有差異的數據只用於研究參考上，並不會將他與其他數據進行平均。我們實際測量該路口的機車輛數與紅燈秒數關係一個禮拜後，我們將他記錄下來進行平均並將結果做模型擬合 (model fit)，如圖九所示，其中橫軸代表紅燈顯示剩餘的秒數 (單位：秒)，而縱軸則是指停在該紅燈前面的累積機車輛數。



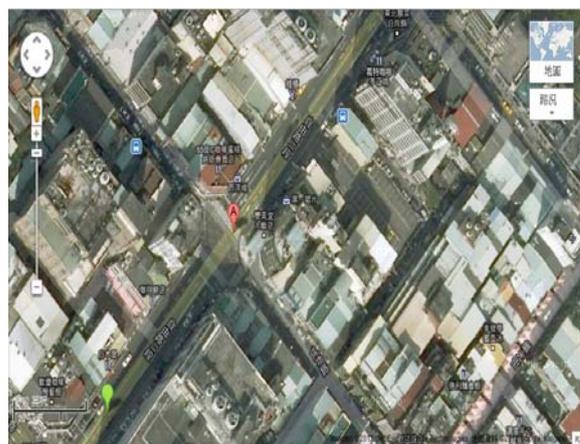
圖十二：(自由路口) 紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之關係



圖十三：紅燈顯示剩下的秒數與該秒停留該紅燈的所有機車總油耗



圖十四 自由路尖峰時段車流量圖



圖十五 自由路 GPS 衛星空照圖

由紅燈顯示剩下的秒數（橫軸）（單位：秒）與所有機車該秒停等該紅燈的所有機車總油耗比例（縱軸）的擬合函數，可以大概知道其油耗趨勢(如圖十一)。

由此函數計算後得知自由路口一次的紅燈週期，所有機車總共約怠速 1755 秒，換算之可得知一次紅燈總怠速的油耗量約為 45.33 克。再利用油耗量與二氧化碳的轉換係數：汽油 2.26 kg CO₂/L[6]，並且由相關研究可知汽油的密度為 0.72g/cm³[13]，因此我們就可以推知在一次的紅燈週期內，若所有機車騎士皆怠速，則總共可排出約

$$\frac{45.33}{0.72} \times 2.26 = 0.14228 \text{ 公斤的二氧化碳}$$

此外，我們一共調查了十五個路口，各路口紅燈剩下秒數、機車數及機車總油耗等之擬合函數如表一所示。

表一：紅燈剩下秒數—機車數及油耗量函數一覽表

	自由路口	建成路口	建國路口
紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之函數	$f(x) = \frac{37.84}{1 + 0.07e^{0.06x}}$	$f(x) = \frac{13.09}{1 + 0.21e^{0.03x}}$	$f(x) = \frac{19.03}{1 + 0.08e^{0.05x}}$
紅燈顯示剩下的秒數與該秒停等該紅燈的所有機車總油耗之函數	$f(x) = 0.02x^2 - 4.26x + 200.92$ ($0 \leq x \leq 87$) $R^2 = 0.9949$	$f(x) = -1.25x + 67.96$ ($0 \leq x \leq 77$) $R^2 = 0.9877$	$f(x) = 0.01x^2 - 2.14x + 95.32$ ($0 \leq x \leq 77$) $R^2 = 0.9959$
	國光路口		
紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之函數	$f(x) = \frac{43.68}{1 + 0.48e^{0.03x}}$		
紅燈顯示剩下的秒數與該秒停等該紅燈的所有機車總油耗之函數	$f(x) = 0.02x^2 - 3.6x + 160.48$ ($0 \leq x \leq 75$) $R^2 = 0.9933$		

表一(續)：紅燈剩下秒數—機車數及油耗量函數一覽表

	中正路與繼光街路口	五權南路與忠明南路路口	學府路與興大路路口
紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之函數	$f(x) = \frac{6.37}{1+0e^{0.17x}}$	$f(x) = \frac{18.36}{1+0.39e^{0.03x}}$	$f(x) = \frac{15.75}{1+0.08e^{0.06x}}$
紅燈顯示剩下的秒數與該秒停等該紅燈的所有機車總油耗之函數	$f(x) = -0.74x + 25.18$ ($0 \leq x \leq 44$) $R^2 = 0.9998$	$f(x) = 0.01x^2 - 1.56x + 65.1$ ($0 \leq x \leq 67$) $R^2 = 0.9984$	$f(x) = 0.01x^2 - 1.77x + 70.04$ ($0 \leq x \leq 76$) $R^2 = 0.9998$
	興大路與忠明南路路口	雙十路口	中正路與自由路一段路口
紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之函數	$f(x) = \frac{23.27}{1+0.2e^{0.04x}}$	$f(x) = \frac{54.77}{1+0.21e^{0.03x}}$	$f(x) = \frac{14.95}{1+0.06e^{0.06x}}$
紅燈顯示剩下的秒數與該秒停等該紅燈的所有機車總油耗之函數	$f(x) = \frac{202.07}{1+0.79e^{0.04x}}$ ($0 \leq x \leq 118$) $R^2 = 0.999$	$f(x) = 0.04x^2 - 5.94x + 297.51$ ($0 \leq x \leq 114$) $R^2 = 0.9941$	$f(x) = 0.01x^2 - 1.7x + 73.68$ ($0 \leq x \leq 78$) $R^2 = 0.9996$

我們於尖峰時段內調查數個大台中地區路口的紅燈秒數，將全部平均後推知尖峰時段內的紅燈秒數為 82.3 秒，也就是我們上述假設的 x 值，調查路口與計算如下所列。

中正路與自由路一段路口
五權南路與忠明南路路口
學府路與興大路路口
建成路口
國光路口

中正路與繼光街路口
興大路與忠明南路路口
建國路口
自由路口
雙十路口

$$77+118+78+52+78+87+77+77+75+114=823$$

$$823 \div 10 = 82.3$$

另外，根據交通局交通規劃科的資料指出，大台中市的號誌化路口數量總共為 4469 組（詳見表二），由表三可以知道大台中市地區各區的土地面積（詳見表三）及總土地面積為 2214.8968 平方公里[9]。因此我們可以推知大台中地區每平方公里的號誌數約為 2.017 組，開方後可得每公里的號誌數約為 1.42 組。

$$\sqrt{4469 \div 2214.8968} = 1.42$$

已知每位機車騎士每天的騎乘距離平均為 9.2 公里，且每公里的號誌數約為 1.42 組/公里，因此可以知道每天平均每位機車騎士應該經過 13.3764 組交通號誌。當然一般來說，機車騎士並不是每次都會遇到紅燈。為了求出機車騎士遇到紅燈的機率，本研究隨機取樣班上 10 位同學，以問卷的方式調查每位同學每天上下學遇到的交通號誌數、紅燈數以及騎乘的總距離，經過整理統計後得知每位機車騎士遇到紅燈的機率約為 $\frac{1}{3}$ （附錄二）。最後由以上得知每位機車騎士在每天的路程裡將會遇到大約 4.5 次的紅燈。

表二：大台中市各行政區之號誌化路口數量

	區別	號誌化路口數量		區別	號誌化路口數量
1	東勢區	102	16	大肚區	66
2	新社區	30	17	烏日區	164
3	石岡區	25	18	龍井區	103
4	和平區	28	19	太平區	169
5	豐原區	292	20	大里區	280
6	潭子區	183	21	霧峰區	133
7	大雅區	139	22	中區	53
8	神岡區	154	23	北區	206
9	后里區	117	24	西區	206
10	外埔區	36	25	南區	152
11	大甲區	144	26	東區	159
12	大安區	72	27	北屯區	370
13	清水區	244	28	西屯區	302
14	沙鹿區	145	29	南屯區	238
15	梧棲區	157			
			總計		4469

表三：大臺中市各行政區土地面積總表

區 別	面積(平方公里)	區 別	面積(平方公里)
中 區	0.8803	梧棲區	16.6049
東 區	9.2855	烏日區	43.4032
西 區	5.7042	神岡區	35.0445
南 區	6.8101	大肚區	37.0024
北 區	6.9376	大雅區	32.4109
西屯區	39.8467	后里區	58.9439
南屯區	31.2578	霧峰區	98.0779
北屯區	62.7034	潭子區	25.8497
豐原區	41.1845	龍井區	38.0377
大里區	28.8759	外埔區	42.4098
太平區	120.7473	和平區	1037.8192
清水區	64.1709	石岡區	18.2105
沙鹿區	40.4604	大安區	27.4045
大甲區	58.5192	新社區	68.8874
東勢區	117.4065		
合計	2214.8968		

(四) 探討有關汽柴油方面的相關事項與變因

目前台灣大部分的機動車輛都以汽油為動力，所以探討汽油就顯得非常重要。在汽油的方面，我們調查 2010 年 01 月 02 日及 2011 年 08 月 08 日的汽油價格與相關自然資源的價格 [5]，我們從 2010/01/02 到 2011/08/08 前所有調價日期的油價做平均求出各種汽油的平均油價。由中油油品價目的資訊及上述整理得知 92 無鉛汽油：30.02 元 / 公升，95 無鉛汽油：30.72 元 / 公升，98 無鉛汽油：32.22 元 / 公升，而這些數值將代表本研究各種的汽油價格，以供接下來計算或參考用。

每年每輛機車可省下金錢 = 每年每位機車騎士可省下若干公升的油 × 油價

(五) 探討有關二氧化碳方面的相關事項與變因

經過有關油價的深入探討後，我們將耗油量與機動車輛排碳量做一個連結。因此，我們根據經濟部的網站上的資訊得知油耗量與二氧化碳的轉換係數為：汽油 2.26 kg CO₂/L [6]，我們將利用以上的轉換係數，來推估油耗量對碳排放量的關係。

每年可減少排放 CO₂ 的量 = 每年每位機車騎士可省下若干公升的油 × 2.26 公斤/公升

三、測量機車油耗或啟動時間的實驗步驟

本研究在相關專業人士的建議下，我們提出六種不同「測量機車油耗或啟動時間的方法」，說明如下：

(一) 機車冷車時怠速油耗的測量方法

首先，把準備的寶特瓶放置在電子磅秤上進行歸零校正，然後將寶特瓶瓶口放置於外接的汽油噴嘴上。一切就緒後，則瞬間啟動引擎並利用計時器計時使其怠速三分鐘，而怠速時外接的汽油噴嘴也會隨著機車原本的噴嘴開始同步噴油，最後利用寶特瓶在三分鐘內把外接噴嘴所有噴出的油量收集起來，並置於電子磅秤上秤重，測其寶特瓶所增加的質量，重複數次實驗步驟並記錄結果，藉此推估出冷車怠速時的油耗量(圖十九至圖二十一)。結果如表四所示。



圖十三：寶特瓶置於電子磅秤上校正



圖十四：汽油的外接噴嘴



圖十五：測量怠速油耗情形示意圖

表四：50cc 機車怠速三分鐘實驗油耗結果

機車按 cc 數分類	第一次測量	第二次測量	第三次測量	第四次測量
50cc 機車	8.2 克	6.1 克	5.9 克	
100cc 機車	4.7 克	4.4 克	4.8 克	
125cc 機車	10.8 克	9.1 克	7.9 克	8.5 克

(二) 機車熱車時怠速油耗的測量方法

由於通常在路上停等紅綠燈的機車，其引擎大都已經有一定的溫度。因此我們模擬一般騎士的狀況，騎乘機車約數十分鐘來熱車後再進行怠速油耗的量測。確認汽缸溫度有明顯的上升後，開始進行測量油耗的動作。首先，把準備的保特瓶放置在電子磅秤上進行歸零校正，然後將保特瓶瓶口放置於外接的汽油噴嘴上。一切就緒後，瞬間啟動引擎並利用計時器計時使其怠速三分鐘，而怠速時外接的汽油噴嘴也會隨著機車原本的噴嘴開始同步噴油。最後利用保特瓶在三分鐘內把外接噴嘴所有噴出的油量收集起來，並置於電子磅秤上秤重，測其實特瓶所增加的質量，重複數次實驗步驟並記錄結果，藉此推估出熱車怠速時的油耗量。

(三) 機車冷車時引擎啟動時間的測量方法

首先我們在機車的電腦上接上機車診斷器。機車診斷器，也就是會顯示所有現在機車相關的狀況與狀態，像是汽缸溫度、引擎轉速等等。值得特別注意的是，機車診斷器只有噴射引擎的機車才有，一般在路上行駛的機車大都是化油器的引擎，因此沒有所謂的機車診斷器。

接下來就要觀察機車診斷器上顯示電池閥（也就是噴油嘴）打開時間的一欄數據，一開始冷車啟動後，機車電腦（ECU）會由引擎的溫度等因素來判斷要輸出多少的油量。而本次的實驗「機車冷車時引擎的啟動時間」則是指引擎的汽缸溫度尚未到達一定的高溫時（本次實驗機車汽缸的溫度約為 74℃）其所要啟動的時間。

為此，我們則定義此時間的長度為引擎電池閥一開始每次打開的時間，大約為 2.2~2.7ms（毫秒）（此時電池閥打開的時間有呈現不穩定的狀態，經過一段時間會慢慢下降），逐漸變為穩定的 1.7ms（毫秒）所需要經過的時間，就是引擎啟動所需要的時間。定義引擎啟動的時間後，接著開始進行量測時間並記錄多次實驗後的結果（詳見表五）做為以後統計與判斷之用。



圖十六：機車診斷器與機車相連

表五：100cc 機車冷車啟動時間實驗結果

	第一次量測	第二次量測	第三次量測	第四次量測	第五次量測	第六次量測	第七次量測
冷車啟動時間	19.2 秒	18.24 秒	17.42 秒	14.22 秒	19.31 秒	19.53 秒	19.25 秒

(四) 機車熱車時引擎啟動時間的測量方法

基本上，量測機車熱車時引擎啟動時間的實驗步驟，與量測機車冷車時引擎啟動的時間是大同小異。唯一與冷車啟動時間實驗不同的地方在於，進行本實驗之前，我們模擬一般機車騎士的狀況，騎乘機車數十分鐘來熱車，確認引擎的汽缸溫度有明顯的上升之後（本實驗機車此時引擎的汽缸溫度約為 85°C~90°C）在進行測量，然後逐一將結果（詳見表六）記錄下來做為統計與判斷之用。

表六：100cc 機車熱車啟動時間實驗結果

	第一次量測	第二次量測	第三次量測	第四次量測	第五次量測
熱車啟動時間	5.36 秒	6.45 秒	7.04 秒	10.30 秒	11.59 秒

(五) 機車冷車時啟動油耗的測量方法

本實驗大致上的實驗方法與之前的「冷車時怠速油耗實驗」相似。首先，把準備的保特瓶放置在電子磅秤上進行歸零校正。然後將保特瓶瓶口放置於外接的汽油噴嘴上並瞬間啟動機車引擎。

接著觀察機車診斷器上顯示電池閥打開的時間，當電池閥從不穩定的狀態逐漸轉變到穩定狀態時，馬上將保特瓶移開並在電子磅秤上進行秤重，測其實特瓶一次啟動時間內所增加的質量，重複數次實驗步驟並記錄結果（詳見表七），藉此推估出冷車啟動時的油耗量。

表七：100cc 機車冷車啟動油耗實驗結果

	第一次量測	第二次量測	第三次量測
該次冷車啟動時間	19.31 秒	19.53 秒	19.25 秒
該次冷車啟動油耗	0.7 克	0.7 克	0.8 克

(六) 機車熱車時啟動油耗的測量方法

本實驗大致上的實驗方法與之前的「熱車時怠速油耗實驗」相似。另外，因為熱車後的啟動時間理論上會短於冷車時的啟動時間。換句話說，一次熱車時的啟動油耗理論上將小於一次冷車時的啟動油耗，有時一次熱車的啟動油耗其量值可能極小，使得電子磅秤無法判讀其增加的量。實驗時假如遭遇以上的狀況，則不將放置於外接的汽油噴嘴上的保特瓶取出，而直接重複進行第二次的量測，此時保特瓶所收集的油將是兩次熱車啟動時的油耗，將保特瓶移開並在電子磅秤上進行秤重，測其實特瓶兩次啟動時間內所增加的質量，並將其平均後得到該次啟動時所耗的油量。其實驗結果經整理後，如表八所示。

表八：100cc 機車冷車啟動油耗實驗結果

	第一次量測	第二次量測	第三次量測	第四次量測	第五次量測
該次熱車 啟動時間	5.36 秒	6.45 秒	7.04 秒	10.30 秒	11.59 秒
該次熱車 啟動油耗	0 克	0.2 克	0.2 克	0.4 克	0.4 克
累積熱車 啟動油耗	0 克	0.2 克	0.4 克	0.8 克	1.2 克

四、研究結果與數據分析

(一) 機車 cc 數與其碳排放量、油耗的影響

根據 100cc 機車的實驗數據來看，使機車怠速三分鐘後，可得知機車怠速油耗約為 1.55g/min。另外 100cc 機車的冷車啟動時間為 18.16s,冷車油耗約為 0.0378722g/s，其結果是由多次實驗平均後得到。同樣的，我們也得到 100cc 機車熱車的啟動時間為 8.148s，熱車後的油耗值為 0.029455g/s。觀察上述的數據可知：熱車後機車的啟動時間與單位時間內的油耗量，都遠遠小於機車冷車時的啟動時間與單位時間油耗量，由此推之，機車若於冷車且熄火狀態停等紅燈，等到綠燈啟動時勢必比熱車狀態啟動時消耗較多的油。

但為了更明確的指出機車騎士應於何時熄火最符合效益，我們將引用之前「機車油耗—時間」的函數模型來計算，並分成冷車與熱車兩種狀態討論：

1.冷車

首先我們已知機車的怠速油耗為 0.0259259g/s，機車的冷車啟動時間為 18.16 秒，冷車的油耗量為 0.0378722g/s。在計算之前，我們根據實驗當時的情形，發現機車在啟動的那一瞬間便上升至最高油耗量，之後油耗量便緩慢的分段的下降成怠速的油耗量，因此我們可以將函數中怠速油耗以上的面積看成一個三角形來計算。因此可知：

$$\begin{aligned} & \text{冷車啟動行為下比怠速時多出的耗油量} \\ & = [(0.0378722-0.0259259) \times 18.16] \div 2 = 0.1084724 \end{aligned}$$

$$0.1084724 \div 0.0259259 = 4.1839396$$

發現一次啟動的油耗量相當於持續怠速 4 秒後的油耗量，且一次冷車啟動的時間為 18.16 秒：

$$4 + 18.16 = 22.16$$

所以計算後可以推知冷車熄火須於大約紅燈結束 22.16 秒前，其油耗才能較怠速情況時少，此時熄火的行為才真正符合經濟效益！

另外我們可知冷車熄火須於大約紅燈結束 22.16 秒前，其油耗才能較怠速情況時少，此時熄火的行為才真正符合經濟效益！再根據之前計算求出的 x 值，也就是我們定義出來一次紅燈的秒數經計算後得知為 82.3 秒。就可以進而求出冷車時的 c 值約為 0.27，即

$$\frac{T}{x} = \frac{22.16}{82.3} = 0.2692588, \text{ 因此}$$

$$\begin{cases} \frac{T}{x} < 0.27 \text{ (常數)} \text{---熄火的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} > 0.27 \text{ (常數)} \text{---怠速的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} = 0.27 \text{ (常數)} \text{---熄火的行為和怠速的行為油耗與碳排放量相同} \end{cases}$$

2. 熱車

首先我們已知機車的怠速油耗為 0.0259259g/s，機車的熱車啟動時間為 8.148 秒，熱車的油耗量為 0.029455g/s。其計算方式與冷車情況時相似。

可知：

$$\begin{aligned} & \text{熱車啟動行為下比怠速時多出的耗油量} \\ & = [(0.029455 - 0.0259259) \times 8.148] \div 2 = 0.0143775 \end{aligned}$$

$$0.0143775 \div 0.0259259 = 0.5545612$$

發現一次啟動的油耗量相當於持續怠速 0.5 秒後的油耗量，且一次冷車啟動的時間為 8.148 秒：

$$0.5 + 8.148 = 8.648$$

所以計算後可以推知熱車熄火須於大約紅燈結束 8.648 秒前，其油耗才能較怠速情況時少，此時熄火的行為才真正符合經濟效益！

另外我們可知熱車熄火須於大約紅燈結束 8.648 秒前，其油耗才能較怠速情況時少，此時熄火的行為才真正符合經濟效益！再根據之前計算求出的 x 值，也就是我們定義出來一次紅燈的秒數經計算後得知為 82.3 秒。就可以進而求出熱車時的 c 值約為 0.01。即

$$\frac{T}{x} = \frac{8.148}{82.3} = 0.099, \text{ 因此}$$

$$\begin{cases} \frac{T}{x} < 0.01 \text{ (常數)} \text{---熄火的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} > 0.01 \text{ (常數)} \text{---怠速的行為比較省油} \\ \frac{T}{x} = 0.01 \text{ (常數)} \text{---熄火的行為和怠速的行為油耗與碳排放量相同} \end{cases}$$

根據其他相關的研究與新車審驗、舊車實驗室的實驗顯示，以四行程 100cc：-0.52km/L、四行程 125cc：2.22km/L、四行程 150cc：3.77km/L 代表各車型新舊油耗的差異，另外根據其研究指出，該油耗差異包含機車因車齡、里程的油耗劣化以及選手車的影響（張益銘，2010）。

(二) 最佳秒數與機車油耗量及碳排放量的探討

此部分我們分成三個問題，分別是油耗量的比較、油費的比較以及碳排放量的比較。

1. 當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，每年可因此降低若干百分比的油耗量？

由之前的計算得知，機車的怠速油耗為 0.0259259g/s，我們試著求出紅燈時間若是每位機車騎士的行為是熄火而非持續怠速，則全台可以因此省下了多少不必要的油耗量。首先，全台總實際行駛機車數量為 10968227 輛。

$$13591360 \times 80.7\% = 10968227$$

再由之前的問卷整理得知每位機車騎士平均每天會遇到 2 個紅燈，而一次紅燈秒數內累積停等的機車數，則從我們調查的紅燈中平均得知約為 28 輛。

$$\frac{36.67 + 10.83 + 17.64 + 29.25 + 46.25}{5} = 28.128$$

接著，我們將所有調查的紅燈中機車總共怠速的時間加總並平均在乘上怠速油耗，可知每一次紅燈，若所有機車皆怠速，則總共會耗掉約 37.05 克的油！

$$\text{一次紅燈中平均機車總怠速時間} = \frac{2586 + 1373 + 828 + 603 + 1755}{5} = 1429 \text{ 秒}$$

最後我們將一次紅燈若全部機車皆怠速，則會多耗掉 37.05 克的油

$$1429 \times 0.0259259 = 37.048111 \text{ 克}$$

再乘上全台實際行駛機車所遇到的紅燈次數（ $\frac{\text{全台實際行駛機車}}{\text{一次紅燈秒數內累積停等的機車數}}$ ），乘上機車騎士每天會遇到 4.5 個紅燈和每年約 365 天，就會是全台機車騎士若一遇到紅燈便熄火的情形下每年將可減少的油耗量，計算後得知油耗量大約為 10594719 公斤。

$$\frac{10968227}{28} \times 4.5 \times 37.05 \times 365 \times \frac{1}{1000} = 10594719 \text{ 公斤}$$

但是等紅燈時熄火後的機車，需要考慮綠燈時一啟動造成比怠速的機車較高的啟動油耗，因此我們將一次紅燈啟動油耗乘上全台實際行駛機車所遇到的紅燈次數

($\frac{\text{全台實際行駛機車}}{\text{一次紅燈秒數內累積停等的機車數}}$)，乘上機車騎士每天會遇到 4.5 個紅燈和每年約 365 天，就會是每年機車啟動的油耗，結果為每年總共約為 5506753.1 公斤（冷車）或 8673093 公斤（熱車）。

$$\begin{aligned} \text{一次紅燈冷車啟動油耗} &= (\text{冷車油耗} \times \text{冷車啟動時間}) \times \text{一次紅燈秒數內累積停等的機車數} \\ &= (0.0378722 \times 18.16) \times 28 = 19.257254 \end{aligned}$$

$$\frac{10968227}{28} \times 4.5 \times 19.257254 \times 365 \times \frac{1}{1000} = 11447923.5 \text{ 公斤}$$

$$\begin{aligned} \text{一次紅燈熱車啟動油耗} &= (\text{熱車油耗} \times \text{熱車啟動時間}) \times \text{一次紅燈秒數內累積停等的機車數} \\ &= (0.029455 \times 8.148) \times 28 = 6.7199804 \end{aligned}$$

$$\frac{10968227}{28} \times 4.5 \times 6.7199804 \times 365 \times \frac{1}{1000} = 19514459.3 \text{ 公斤}$$

實行熄火行為而非怠速行為下，

$$\begin{aligned} \text{每年因此降低的油耗量} &= \text{每年怠速油耗} - \text{每年啟動油耗} \\ &= 11447923.5 \text{ 公斤（冷車）或 } 19514459.3 \text{ 公斤（熱車）} \end{aligned}$$

2. 當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，每年每位機車騎士可因此省下若干的油費？

根據之前的油價紀錄，可知 92 無鉛汽油：30.02 元 / 公升，95 無鉛汽油：30.72 元 / 公升，98 無鉛汽油：32.22 元 / 公升，油費平均為 $\frac{30.02 + 30.72 + 32.22}{3} = 30.98$ 元 / 公升。

以及汽油密度 0.72g/cm^3 。則全台每年每位機車騎士可因此省下的油費約 60 元，計算如下：

每年每輛機車可省下油費 = 每年每位機車騎士可省下若干公升的油 × 油價

$$\begin{aligned} \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} &= \frac{11447923.5}{10968227} = 1.043735 \text{ 公斤/每輛機車} \\ &= 1.043735 \times \frac{100}{72} = 1.44963 \text{ 公升/每輛機車（冷車）} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} &= \frac{19514459.3}{10968227} = 1.7791808 \text{ 公斤/每輛機車} \\ &= 1.7791808 \times \frac{100}{72} = 2.47108 \text{ 公升/每輛機車（熱車）} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每年每輛機車可省下油費} &= \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} \times \text{油價} \\ &= 1.44963 \times 30.98 = 44.909537 \text{ 元 (冷車)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每年每輛機車可省下油費} &= \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} \times \text{油價} \\ &= 2.47108 \times 30.98 = 76.554058 \text{ 元 (熱車)} \end{aligned}$$

3. 當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，每年可因此降低若干百分比的碳排放量？

根據文獻探討知道油耗與二氧化碳的轉換係數為：汽油 2.26 kg CO₂/L，並依照下列式子計算出每年機車騎士皆於最佳秒數前，一遇到紅燈便熄火可因此降低的碳排放量。

$$\text{每年可減少排放 CO}_2 \text{ 的量} = \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} \times 2.26 \text{ 公斤/公升}$$

已知汽油密度 0.72g/cm³，則可由此得到：

$$\text{每年機車騎士可省下若干公升的油} = 11447923.5 \text{ 公斤} \times \frac{100}{72} = 15899893 \text{ 公升}$$

$$\begin{aligned} \text{每年可減少排放 CO}_2 \text{ 的量} &= \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} \times 2.26 \text{ 公斤/公升} \\ &= 15899893 \times 2.26 = 35933758 \text{ 公斤 CO}_2 \text{ (冷車)} \end{aligned}$$

$$\text{每年機車騎士可省下若干公升的油} = 19514459.3 \text{ 公斤} \times \frac{100}{72} = 27103415 \text{ 公升}$$

$$\begin{aligned} \text{每年可減少排放 CO}_2 \text{ 的量} &= \text{每年每位機車騎士可省下若干公升的油} \times 2.26 \text{ 公斤/公升} \\ &= 27103415 \times 2.26 = 61253717 \text{ 公斤 CO}_2 \text{ (熱車)} \end{aligned}$$

伍、研究結果

我們根據不同路口的數據並將每個路口紅燈剩下秒數—機車數及油耗量繪成一條最佳曲線（詳見表一），從各個函數可推知每個紅燈時顯示秒數與該秒停等於此紅燈機車數的數量。

- 一、從實驗的結果得知，100cc 四行程噴射引擎的機車，其怠速油耗為 1.55 克/每分鐘，冷車啟動時間為 18.16 秒，冷車啟動油耗約為 0.0378722 克/秒，而熱車的啟動時間則為 8.148 秒，熱車後啟動的油耗值為 0.029455 克/秒。
- 二、根據文獻資料與問卷所示，每位機車騎士每天騎乘的距離平均為 9.2 公里，而大台中地區每公里約 2.017 組，機車騎士遇到紅燈的機率約為 $\frac{1}{3}$ 。最後可知平均每位機車騎士每天應會遇到大約 4.5 次紅燈。
- 三、機車冷車狀態時的最佳秒數為 22.16 秒，機車熱車狀態時的最佳秒數則為 8.648 秒。

四、當大都市每位機車騎士皆於「最佳秒數」前熄火，相較於怠速，在冷車的情況下，每年可因此降低 11447923.5 公斤的油耗、35933757 公斤的二氧化碳，每一輛機車每年也可省下近 45 元的油錢；在熱車的情況下，每年可因此降低 19514459.3 公斤的油耗、61253716.5 公斤的二氧化碳，每一輛機車每年也可省下近 77 元的油錢。

五、結論整理與比較

	啟動時間 (秒)	啟動油耗 (克/秒)	最佳秒數 (秒)	減少之油耗 (公斤)	減少之二氧化碳排放量 (公斤)	油費 (元)	C 值
冷車	18.16	0.0379	22.16	11447923.5	35933757	45	0.27
熱車	8.148	0.0295	8.648	19514459.3	61253716.5	77	0.1

六、整理以上的文獻探討與實驗結果，我們將以上影響機車碳排放量與油耗量的種種變因，經過整理後推估怠速油耗的數學模型如下：

設 a 為全台每天機車數， b 為一次紅燈累積停等的總機車數， c 表各種類機車所成集合

第 i 種類機車怠速油耗為 x_i ，該總類機車比例為 p_i ，其中 $i=1,2,\dots,n$

d 為一次紅燈內所有機車累積怠速時間， e 為冷車啟動時間

f 為全台實際行駛機車所遇到的紅燈次數

已知冷車啟動油耗=0.0378722 克/秒，機車騎士每天遇到紅燈的機率為 $\frac{1}{3}$
每位機車騎士每天遇到紅燈數=4.5

$$\text{式一：全台每天機車怠速油耗} = a \times 80.7\% \div b \times \sum_{i=\text{各種cc數機車}}^n x_i p_i \times d \div 3$$

$$\text{式二：全台每年機車啟動油耗} = e \times 0.0378722 \times b \times f \times 4.5 \times 365$$

陸、應用與未來展望

(一) 本研究是以探討機車行經路口遇紅燈需熄火一事，以利人利己的觀點下提出相關的數據與推論，並建議機車騎士應在適當的秒數內熄火，避免因機車停等紅燈時怠速行為而產生多餘的汙染，達到節能減碳的目的。但除了機車外，我們常行駛的交通工具—汽車，數量不少，其汙染也是不容小覷的。且因為大部分汽車另設有音響、冷氣等週邊設備，整體來說一輛汽車應該比一輛機車更為耗油才是。期望未來本研究的目標能考量並推廣至汽車的方面上，為所有的駕駛人提供一個既節能又省碳的好方法。

(二) 本研究以機車怠速問題，以駕駛人的角度來設計紅綠燈秒數及市區道路的線道數為努力方向，並得出相關結果，預估應該可以類推至汽車上，因此可以使用於現行之都會

區，改善目前台灣都會區之紅綠燈停等機制，如下例所示。

表九、中港路和河南路的紅燈車子所停下的數目：

紅燈開始後之秒數	原本	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70
累計車數	9	20	35	49	64	79	89	105

算式 1 $10s=(9*10+11*5)*0.0258333 =145*0.0258333$

先分析秒數，在 10 秒內有 9 台機車怠速 10 秒，但在 0~10 秒內來了 11 台機車，把他取中間值 5 秒，所以此 11 台機車怠速 5 秒，再乘上每台車每秒耗油 0.0258333 克/秒，就變成算式 1。

算式 2 $20s=(9*20+11*15+15*5)*0.0258333 =420*0.0258333$

在 20 秒內有 9 台機車怠速 20 秒，在 10~20 秒內來了 11 台機車，把他取中間值 15 秒，所以此 11 台機車怠速 15 秒，20~30 秒來了 15 台機車，把他取中間值 5 秒，再乘上每台車每秒耗油 0.0258333 克/秒，就變成算式 2。

(算式 3~算式 7 依此類推)，這些數字就是實際值。

算式 3 $30s=(9*30+11*25+15*15+14*5)* 0.0258333 =840*0.0258333$

算式 4 $40s=(9*40+11*35+15*25+14*15+15*5) *0.0258333 =1405*0.0258333$

算式 5 $50s=(9*50+11*45+15*35+14*25+15*15+15*5) *0.0258333=2120* 0.0258333$

算式 6 $60s=(9*60+11*55+15*45+14*35+15*25+15*15+11*5)*$
 $0.0258333=2965*0.0258333$

算式 7 $70s=(99*70+11*65+15*55+14*45+15*35+15*25+11*15+16*5)*$
 $0.0258333=3945*0.0258333$

算式 8 $3945*0.0258333/105/70$ 大約= $0.54*0.0258333$

在這 70 內平均每台車每一秒所消耗的油量即為算式 8。

算式 9 $10s=0.54*0.0258333*10*20=108*0.0258333$

10 秒內共有 20 台機車在等，所以累積排放量為平均量乘以秒數再乘以車數，即可寫成算式 9。

算式 10 $20s=0.54*0.0258333*20*35=378*0.0258333$

20 秒內累積共有 35 台機車在等，所以累積排放量為平均量乘以秒數再乘以車數，所以可以寫成算式 10。

$$\text{算式 11 } 30s=0.54*0.0258333*30*49=749*0.0258333$$

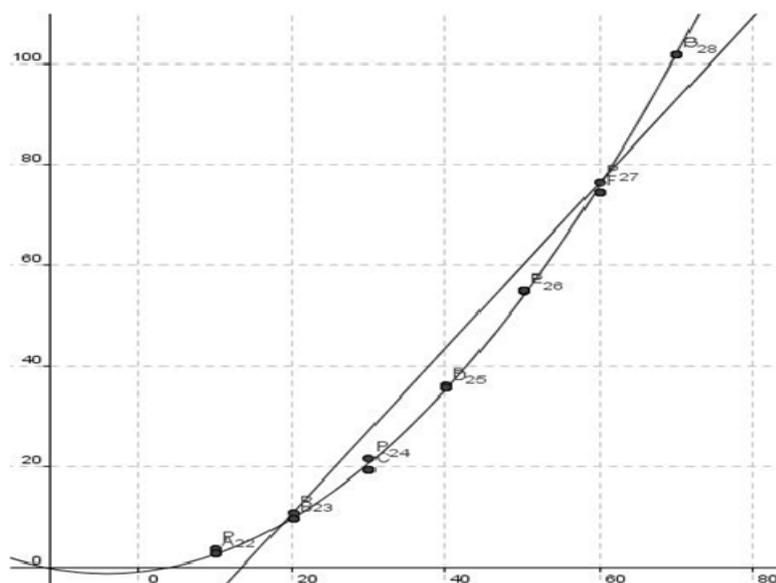
$$\text{算式 12 } 40s=0.54*0.0258333*40*64=1382*0.0258333$$

$$\text{算式 13 } 50s=0.54*0.0258333*50*79=2133*0.0258333$$

$$\text{算式 14 } 60s=0.54*0.0258333*60*89=2883.6*0.0258333$$

(算式 11~14 依此類推)，這些數字就是理論值。

把上面的實際值和理論值製成函數圖形去比對：



圖十七 實際值和理論值的函數關係圖

在 40 秒時會出現理論值大於實際值的情況，所以 40 秒就是中港路和河南路的最佳紅燈秒數，依照這個方式分各個線道討論路口的最佳紅燈秒數。

柒、參考資料及其他

- [1] Wang M., Chen Y., Yang K., Wang M., Xiong L., & Huang Y. (2011). A local-scale low-carbon plan based on the STIRPAT model and the scenario method: The case of Minhang District, Shanghai, China. *Energy Policy*, 39, 6981–6990.
- [2] Creutzig F., Papson A., Schipper L., & Kammen D.M. (2009). Economic and environmental evaluation of compressed-air cars. *Environmental Research Letters*, 4, from <http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/4/044011>
- [3] 臺南市政府環境保護局 (2008 年 1 月 1 日), 「臺南市反怠速自治條例草案」, 取自: <http://www.tnepb.gov.tw/achievment.asp?ID=%7B40766712-61E0-41C6-BE61-36AA061B61E7%7D>
- [4] 台灣中油股份有限公司 (2011 年 8 月 8 日), 中油油品行銷事業部價目—汽柴燃油價格變動, 取自: http://www.cpc.com.tw/big5_BD/tmtd/ListPrice/ShowHisToryPrice.asp?pno=53
- [5] 99 年度經濟部能源局, 燃料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數
- [6] 張庭嘉 (2006)。 「機車與柴油車的汙染排放總量推估模式建立」, 國立中興大學機械工程研究所碩士論文
- [7] 張益銘 (2010 年 01 月 14 日) 「縣市合併城鄉差距法規整併難度高」, 台中日報
- [8] 交通部 (2011 年 8 月 6 日) 統計查詢網, 機車數輛登記數, 取自: <http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100&funid=defjspa>
- [9] 台中市政府民政局, 區里資訊-台中市各地土地面積表, 取自: <http://upload.taichung.gov.tw/upload/47574748-78e4-4074-9211-06a0ffa50f32.xls>
- [10] 經濟部能源局 (民國 99 年) 車輛油耗指南 99 年測試合格銷售車型, 取自: http://auto.itri.org.tw/download/DOC/greencarguideline_99.pdf
- [11] 鄭榮和、林松慶、馮瑞裕、林晨宇、楊泰紳、振芫舜 (民國 97 年), 「車輛怠速測試計畫結果報告」, FORMOSUN 先進動力研究中心, 台達文教基金會
- [12] 游文清 (民國 91 年), 「新事業開發決策模式之研究—以台灣機車製造業為例」, 國立中山大學企業管理學系研究所碩士, 取自: <http://bm.nsysu.edu.tw/tutorial/bp/pdf/case2.pdf>
- [13] 蔡惠茹、唐意婷、孫賢孝、張雲龍、杜慶璋、莊淑斐 (民國 92 年), 「929598」, 光正國中, 取自: http://science.lishin.tcc.edu.tw/up43/132_929598.doc

附錄一 紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

由於本研究對任一組交通號誌皆有多次的紀錄與數據資料，我們將這些數據利用散布圖呈現如下。其中橫軸表示紅燈顯示剩下的秒數，縱軸則表示停在該紅燈前面的機車數量。以下圖形皆是如此。

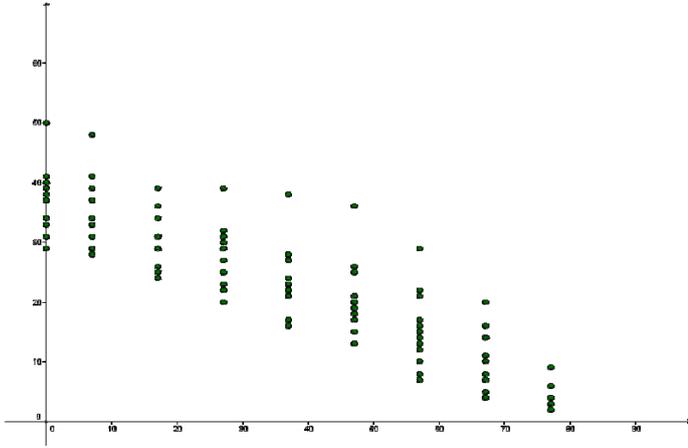


圖 A.1 自由路紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

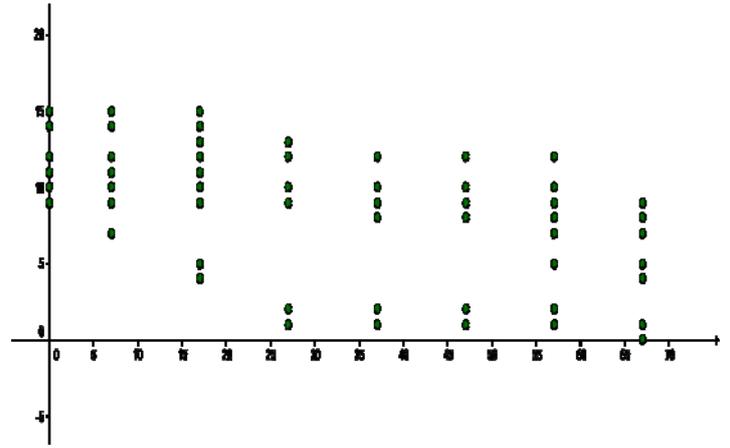


圖 A.2 建成路紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

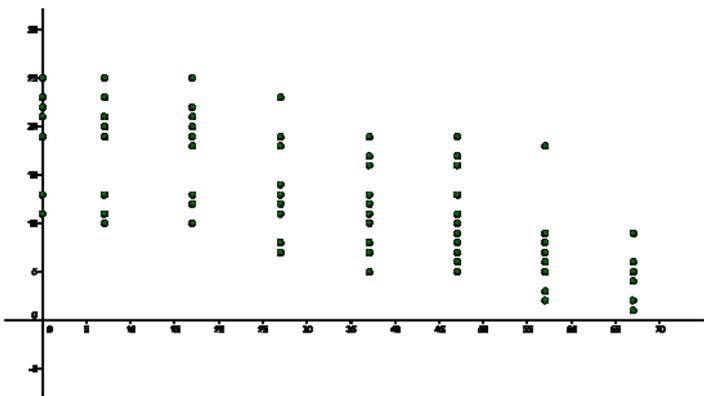


圖 A.3 建國路紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

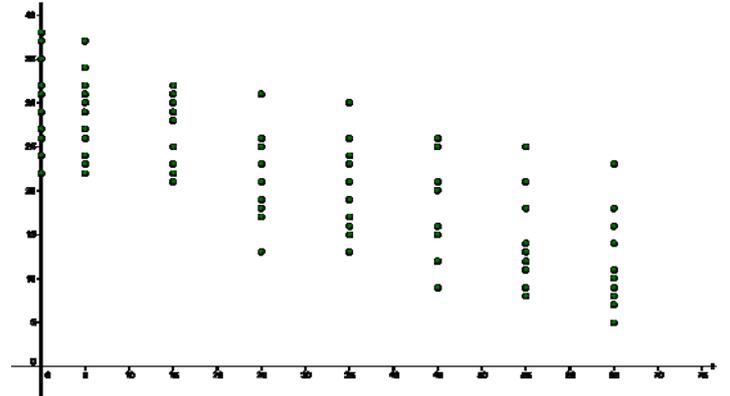


圖 A.4 國光路紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

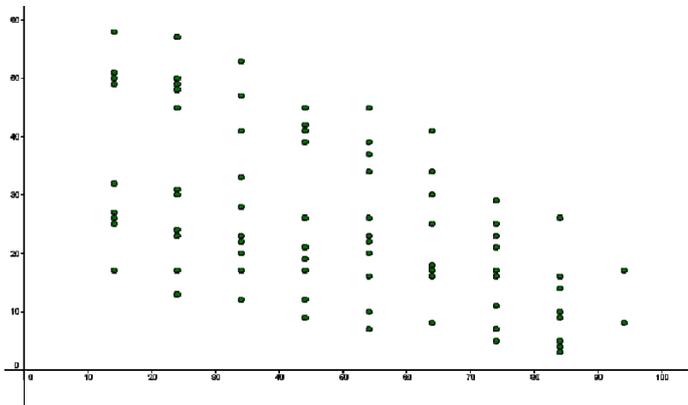


圖 A.5 雙十路紅燈顯示剩下的秒數與停在該紅燈前面的機車數之散布圖

附錄二 問卷調查與整理

我們發了 30 張問卷，而下方為我們的結果(詳見表)

- 一、上學時間平均一個人遇上紅燈機率約 0.3453(樣本數 20)
 - 二、放學時間平均一個人遇上紅燈機率約 0.3668 (樣本數 20)
 - 三、補習時間平均一個人遇上紅燈機率約 0.4341(樣本數 3)
 - 四、上學遇到紅燈數平均：6.837045048 個
 - 五、放學遇到紅燈數平均: 7.269962151 個
- 一日所遇的紅燈數平均: 14.10701 個

表 A.1：問卷整理

序號	上學交通工具	上紅綠	上紅	上P	放學交通工具	放紅綠	放紅	放P	補習	補習交通工具	補習紅綠	補習紅
13	1	40	14	0.35	3	9	4	0.444444444	Y	4	0	0
8	1	39	10	0.256410256	1	30	6	0.2	N			
24	3	37	5	0.135135135	1	32	10	0.3125	Y	3	42	8
12	1	25	9	0.36	3.4	15	6	0.4	N			
11	2.5	20	6	0.3	3	24	11	0.458333333	N			
9	3.5	20	5	0.25	3.5	20	10	0.5	N			
7	4.6	16	7	0.4375	4.6	32	14	0.4375	N			
16	3.4.5	14	6	0.428571429	4.5	6	2	0.333333333	Y	3	20	14
6	3	13	3	0.230769231	4	0	0	0	N			
18	1	12	10	0.833333333	3	14	10	0.714285714	N			
22	1.3.4	12	4	0.333333333	4.5	3	1	0.333333333	Y	3.4.5	17	7
17	3	11	4	0.363636364	3	11	3	0.272727273	N			
21	3.4.5	11	1	0.090909091	3.4.5	11	0	0	N			
3	3.4.5	10	5	0.5	3	27	10	0.37037037	N			
10	3	10	6	0.6	1	24	6	0.25	Y	4	0	0
15	3.4.5	9	2	0.222222222	3.5	41	15	0.365853659	N			
14	3.4	8	2	0.25	3.4	8	4	0.5	N			
1	3.4	7	2	0.285714286	3.4	8	4	0.5	N			
25	3	7	3	0.428571429	3	7	4	0.571428571	N			
19	1	4	1	0.25	1	6	1	0.166666667	N			
4	4	0	0	0	3	34	7	0.205882353	N			
20	4	0	0	0	4	0	0	#DIV0!	Y	4	0	0
2	4.5	0	0	0	4.5	0	0	#DIV0!	N			
5	4.5	0	0	0	4.5	0	0	#DIV0!	N			
23	4	0	0	0	4	0	0	#DIV0!	N			
26												
27												
28												
29												
30												
有效和	25			20				20				
		325	105	0.345305305		362	128	0.366832953	0.353553		79	29
				0.323076923				0.35359116				
		16.25		上學遇到紅燈		18.1		放學遇到紅燈				
	扣除搭捷運、走路	19.32514	19.8	6.837045048	扣除搭捷運、走路	19.32514	19.81818	7.269962151	14.10701			
	上學遇到紅燈	理論值	實際值	平均	放學遇到紅燈	理論值	實際值	平均		13.76217011		