

# 96 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

## 機車污染排放減量策略與技術之研究

計畫編號：97-EPA-M-0202-001

計畫主持人：曾全佑

共同主持人：蔡建雄、陳立文、楊榮華

屏東科技大學車輛工程系暨研究所

### 摘要

本計畫針對使用中機車，研究目標有兩項，首先為不改裝元機車污染控制系統之前提下，發展怠速自動熄火與啟動之關鍵技術，並進行實車測試其效能。計畫之第二個目標為機車騎士於停等區吸入污染物預測模式建立，實驗量測分析。探討在不實施惰轉熄火時，機車騎士在十字路口機車停等區內，停等紅綠燈之過程中，到底處於多高的污染物濃度中，到底吸入多少污染物。

在怠速熄火之研究方面，實驗結果顯示，若原使用中機車實施怠速熄火，一個 ECE40 循環約提升 12.5% 的省能效能，因成本低廉，使用中機車可改裝。若應用本計畫所提之複合動力與怠速熄火策略，一個 ECE40 循環提升 20% 的效能，但成本較高，適於新車安裝。在污染減量方面，若全國使用中機車全面實施怠速熄火，粗估每年 CO 排放減量約 2793.5 公噸，HC 排放減量約 171.55 公噸，CO<sub>2</sub> 排放減量 34887 公噸。然而，若只實施單純的怠速熄火，熄火再起步加速之暫態過程將減少熄火之省能與污染減量功效，本計畫加入輔助動力之策略不但提升省能效果，CO<sub>2</sub> 排放減量將提升至 41043 噸/年，同時因為減緩熄火再起步加速之暫態過程中，因為引擎之出力減少，將使混合比降低，將提升了排污減量的效果。

機車騎士於停等區吸入污染物的研究方面，計畫中發展了一個停等區污染物濃度預測模式，結果顯示，當機車怠速 CO 濃度為 3% 時，在交通擁擠的停等區內，約 30 秒內機車騎士所吸入的一氧化碳濃度可達 400ppm。若當前方排氣管又剛好朝向騎士時，則約在 10 sec 內即會感受到 750ppm 的一氧化碳。

關鍵詞：機車，怠速熄火，排氣污染

## **Abstract**

Due to the endurance of the motorcycle, people in Taiwan usually keep their motorcycle up to 15 years or longer, a period far beyond the emission warranty period. The current emission warranty period is 15000 km. However, many motorcycles in Taiwan have longer mileages, causing considerable air pollution. Subsequently, the health of the people on the island is deadly threatened. In sense of this problem, an effective strategy to reduce motorcycle emission is mandatory. This project has two goals, one is to develop an optimal idle stop strategy to control gas emissions of scooters, the other one is to develop a model which predicts the pollutant inhalation of a motorist while he stops.

Experiment results show that, with only idle stop and changing no hardware component, the fuel efficiency can increase 12.5% for ECE 40 driving cycles. However, with the optimal idle stop strategy developed in this project, a 20% fuel saving can be reached with a higher cost though. If all the motorcycles in use carry out idle stop, the exhaust pollutant can be reduced as many as 2793.5 tones in CO, 171.55 tones in HC, and 34887 tones in CO<sub>2</sub> per year. However, if use the optimal idle stop strategy instead, the CO<sub>2</sub> reduction can be increased to 41043 tones per year. The extra fuel and, of course, the pollutants reduction can be attributed to the electric motor power delivered during the start-and-go transient. This auxiliary power can decrease the power requirement and alleviate the rich air-fuel ratio during that period.

In the pollutant inhalation study, an air pollutant density prediction model in the neighborhood area is developed. The result shows that the motorist can inhale up to 400ppm CO in 30 seconds when the motorcycle stops and the engine is running in idle with 3% CO in exhaust during traffic hour. Even worse, if an exhaust pipe from other motorcycle is directed to the motorist under the same condition, about 750ppm CO will enter his respiratory system in 10 seconds.

**Key words:** scooter, air pollutant, idle stop

## 一、緣起

近年來國內已經開始推廣車輛怠速熄火措施，問題是，機車在不改裝原車控制參數之情形下，如果於等停紅綠燈時一律熄火，整體污染減量之成效如何。雖然國外已有一些相當的研究進行，但是絕大多數都是在汽車的模式下探討，極少有針對機車部份之研究。台灣機車密度約 330 輛/Km<sup>2</sup>，遠高於世界各國之水準，而且我國市區紅綠燈密佈，惰轉時所排放出來的廢氣量對空氣污染的貢獻甚大。因此，機車怠速熄火對污染減量之成效實測分析與控制策略研擬為本計畫之第一主要工作項目。

多環芳香烴是汽柴油燃燒不完全的主要產物，已有 16 種被美國環保署列為優先管制的汙染物質。當汽、機車停在十字路口等紅綠燈時，引擎處於空轉的怠速狀態，汽柴油燃燒不完全，多環芳香烴的濃度當然飆高，機車騎士即成為最直接的受害者。大氣中的懸浮微粒濃度愈高，氣喘復發率愈高。國外文獻顯示，懸浮微粒濃度每立方公尺增加 10 微克，氣喘復發率就增加 3%。種類繁多的多環芳香烴中，部分是可能的致癌物質，曝露濃度愈高，致癌機率也愈高。台大醫學院職業醫學所教授詹長權等研究發現，空氣中二氧化氮每增加十個 ppb（十億分之一），在四到八小時後，病患的心率可變異性就降低百分之一點五到二點四，心率可變異性顯著降低，使體內自主神經調控功能變差，病患心跳加快，氧氣消耗也變多，很容易因缺氧引發心肌梗塞。詹教授表示，台大發現空氣汙染物中的二氧化氮與心率可變異性下降有關，而心血管病患死亡前，心率可變異性經常會下降。這篇論文已發表在「歐洲心血管預防與復健」期刊，是國際首度證實空氣汙染與心率可變異性有關的研究。二氧化氮來自汽車與機車排放的廢氣的比例相當高。

怠速熄火的政策推動，直接受害者就是騎機車的民眾，因為十字路口機車停等區的駕駛直接受到高濃度的污染排放影響，然而，此項議題卻未引起注意。因此，本計畫之第二個工作項目為探討怠速熄火直接可以改善多少人民的感受與減低多少健康的風險也是本計劃要評估的項目。要了解十字路口機車停等區民眾的感受與減低多少健康的風險先要了解民眾到底在十字路口機車停等區停等區內吸入了多少汙染物。民眾因為在停等區等紅燈會額外吸入一些高汙染物，這些汙染物將一定程度對民眾健康造成不良的影響。

本計畫之目標有兩項，首先進行實車測試與分析惰轉熄火之效能，並研擬提升惰轉熄火效能之控制策略與相關技術，以作為政府未來推動與業者改進之重要參考。計畫主要著眼於使用中車輛，探討在不改裝控制系統之情形下，發展怠速自動熄火與啟動之關鍵技術。計畫之第二個目標為建立機車騎士於機車停等區吸入汙染物之預測模式，主要量測與分析，當不實施惰轉熄火政策時，機車騎士在十字路口機車停等區內，停等紅綠燈之過程中，到底處於多高的汙染物濃度中，到底吸入多少汙染物。

## 二、研究方法

本計畫在不改裝現行機車控制系統之情形下，提出怠速熄火控制技術與策略，並探討其污染改善成效，因為暫態過程之污染物量測設備昂貴，計畫將以省能為出發點，探討污染改善成效。研究將以研製實驗系統開始，然後在機車底盤動力計上進行實驗。

在機車停等區內，機車駕駛停等紅綠燈之過程中，所吸入污染物濃度停等區內之污染物分析方面，將以三方面來進行研究：實驗量測、建立評估模型、與計算流體力學 (CFD) 數值模擬。其中 CFD 的方法主要探討機車停等區內機車廢氣的分佈情形方面，本研究使用雷諾時平均方程式組來描述停等區內的流場。同時假設流體的密度為常數，而浮力項則使用 Boussinesq 的假設。統御停等區內污染物濃度之方程式如下：

連續方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

動量方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (2)$$

濃度方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j C) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho D \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_j' C}) \quad (3)$$

為了封閉方程式(2)與(3)之雷諾應力  $-\rho \overline{u_i' u_j'}$  與雷諾濃度傳輸  $-\rho \overline{u_j' C}$ ，計畫中擬採用 RNG  $k-\varepsilon$  model 紊流模式[1]:

$$-\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (4)$$

$$-\rho \overline{u_j' C} = \frac{\mu_t}{Sc_t} \left( \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k \mathbf{U}) = \nabla \cdot \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right] + G + B - \rho \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \mathbf{U}) = \nabla \cdot \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G + B) (1 + C_3 R_f) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

$$G = 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij}, \quad (8)$$

$$B = \beta g_i \frac{\mu}{\sigma_T} \frac{\partial \rho}{\partial T}, \quad (9)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T}, \quad (10)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (11)$$

$$R_f = \frac{-2B}{2(B+G)}, \quad (12)$$

其中， $Sc_t$  為紊流 Schmit 數，在此計畫中=1，其餘  $k-\varepsilon$  紊流模式的係數值如下表所示

	$C_\mu$	$\sigma_\varepsilon$	$\sigma_k$	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	$C_3$
係數值	0.09	1.30	1.00	1.44	1.92	0.8

數學模型建立後，計畫中以商用 CFD 軟體 FLUENT 來計算上述統御方程式。另外在模型外型與網格的建構則以 GAMBIT 軟體進行，該軟體為 FLUENT 軟體所搭配的前處理軟體。計算流體力學係採用控制體積法(control volume method)來建立統御方程組的差分方程式(finite difference equation)。研究中數值計算使用 SIMPLE (semi-implicit- method -for- pressure- linked- equation)方法來處理速度場與壓力場耦合的關係[2]。

### 三、研究結果與討論

#### 3-1. 機車自動怠速熄火策略與技術之研發

(1) 怠速自動熄火控制電路與策略：本項工作主要開發機車怠速自動熄火與啟動裝置，並提出提升省能與污減減量功效之控制策略。本實驗採用搭載 125 c.c.汽油噴射引擎之車種，為配合車輛動態實驗，啟動與熄火控制必需整合在控制器內，我們以不變更原車線路的方式，在原架構上加裝啟動與熄火模組，將之線控化。原車的啟動方式如圖 1 所示，必須同時按住煞車拉桿與啟動開關，才能觸動啟動繼電器，為了簡化其作動方式與線控化，在 Y/R 端加裝一繼電器，如圖 2 所示，繼電器之常閉端走原線路，常開端為控制端，當輸入一觸發訊號，啟動繼電器便能作動。

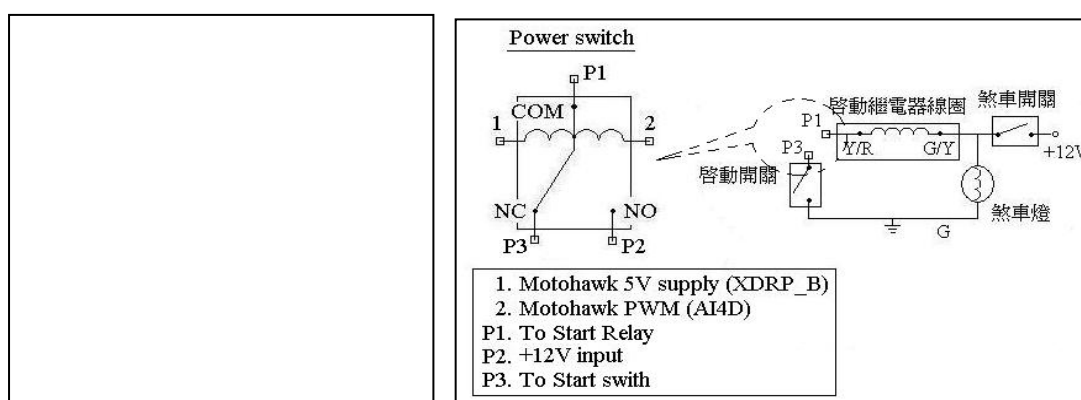


圖 1 原車啟動電路

圖 2 啟動電路之線控化電路

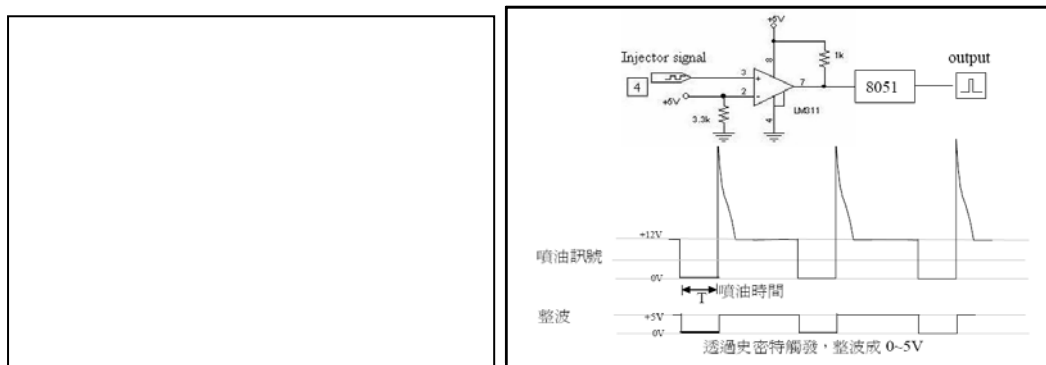


圖 3 熄火模組電路示意圖

圖 4 油耗計電路

原車的熄火並沒有特別的電路，只經由 I/G 開關來控制是否熄火。因考量到斷開引擎上各部位的感測器訊號可能會造成 ECU 產生故障碼，為避免此情形發生，只在 I/G 訊號輸入 ECU 的線路上加裝一繼電器，如圖 3 所示，以觸發訊號來決定 I/G 訊號斷開與否。另外，每當 ECU 感測到 I/G 的訊號便會輸出 13 秒的 pulse 來觸發燃油泵建立油壓，此作動方常耗能，便在燃油泵的訊號線上加裝一繼電器，來避免電能不必要的消耗。

(2) 機車油耗計：機車之燃油消耗量很小，市面上難以買到機密而且反應快速的機車專用油耗計，同時，原車上所裝設的油錶，因受到形狀和精度的限制，不能很明確的看到燃油消耗的情形，為了實驗能方便進行，本計畫自行開發了油耗計。主要構想為經由量測噴油脈寬計算油耗。由於噴油訊號是非常快速的，若單由控制器來抓取、計算，會佔用控制器大部份的效能，使控制器的可用性縮小，並且會有遲緩的現象，為避免此種情況，我們採用單晶片來做為外部的計數器，電路架構與邏輯判斷如圖 4 所示，先利用史密特觸發，將噴油訊號整波成高、低電位，低電位為噴油時間，由單晶片累計到一定的量，再送出訊號給控制器累加，如此一來可減輕控制器的負擔，並使結果更為準確。

由於油耗計所計算出的燃油消耗值是由噴油嘴之噴油脈寬訊號換算得來，因此必須參考引擎溫度與噴油頻率修正。為了確認校正油耗計的準確性，我們在把機車的油箱外接出來，利用精密電子秤驗證校正油耗計之量測值，同時，為了驗證油耗計的穩定性，本計畫在利用機車在動力計上，進行連續 4 個循環的 ECE40 測試，此一實驗共進行兩次，每一次的起始溫度相同，然後將該兩次的油耗值相減，以觀察相同測試條件下，油耗量測值的變異量，實驗結果如圖 5 所示，圖中顯示，在 4 個 ECE 40 循環之過程中，油耗量測值的變異量以零為位準，誤差都在  $\pm 0.2$  克之內。

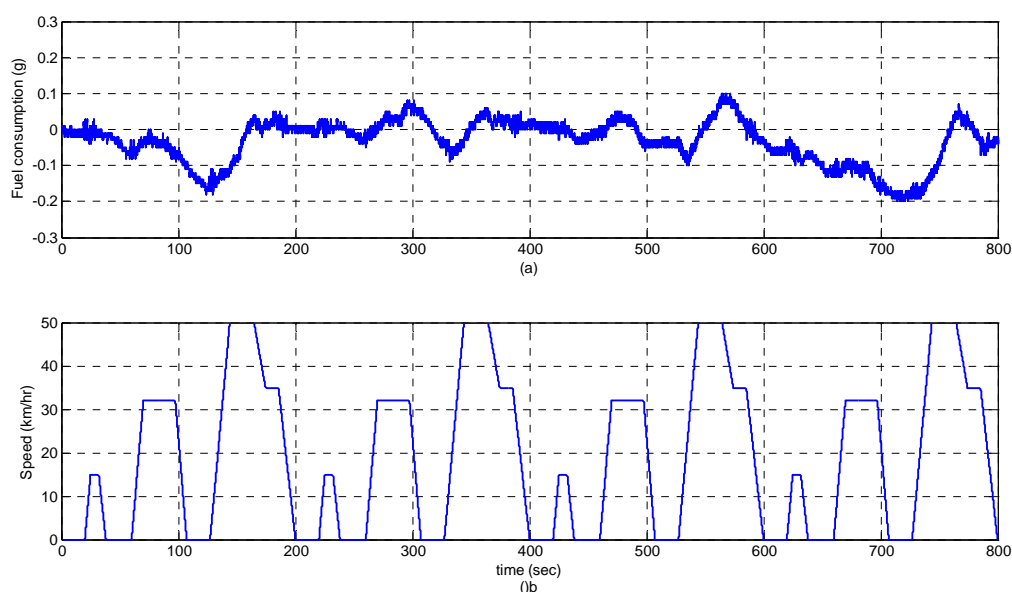


圖 5 油耗計重複性實驗 (a) 引擎相同運轉條件下的油耗量測值變異量變化；(b) 車速曲線

## (5) 怠速自動啟動與熄火(idle stop-and-go)控制邏輯

為了能更有效的控制車輛的啟動與熄火的機制，本計畫擬定了一控制邏輯，首先，我們分析熄火與啟動和機車各種信號的邏輯關係，建構了一真值表，如表 1 所示，表中，None 為未達目標值，Yes 則是已達目標值，由表中，我們能清楚的看到機車熄火與啟動和機車各種信號的邏輯關係，當沒有油門與車速訊號時，表示車輛處於怠速，當滿足此條件達某個時間時，必需熄火；有油門訊號，卻無轉速訊號，表示駕駛欲騎乘，該啟動。

歸納上述條件後，我們擬定了怠速自動熄火與啟動之一控制流程圖，如圖 6 所示，圖中的  $t \geq x$  表示該停幾秒後，怠速熄火功能才啟動，以避免雜訊之干擾。圖中  $i$  的部份為系統保護常數，避免引擎發不動時，程式落入永無止境的迴圈而跳不出來。

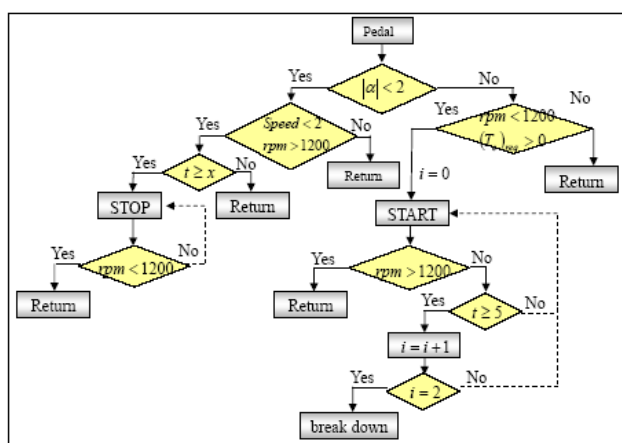


圖 6 自動怠速熄火與啟動控制流程圖

表 1 啟動與熄火真值表

command	引擎轉速	車速	啟動	熄火
None	None	None	x	x
None	None	Yes	x	x
None	Yes	None	x	0
Yes	None	None	0	x
Yes	Yes	None	x	x
Yes	None	Yes	0	x
None	Yes	Yes	x	x
Yes	Yes	Yes	x	x

### (6)機車原始性能與油耗測試測試

為了確認怠速熄火之策略之效果，本計畫於屏東科技大學之全自動四象限機車底盤動力計上進行實驗。首先，量測引擎處於怠速的實際燃油消耗，先將車輛發動達到原車所規範工作溫度，再量測怠速運轉 3 分鐘所消耗的燃料，實驗結果顯示，本計畫之實驗機車(125cc)，怠速(1800rpm)平均每秒鐘的油耗是 0.065 g，相當於 0.087 c.c.的燃油。

為了探討研究對象之動態特性，以利擬訂控制策略，我們接著進行機車 ECE 40 駕駛模式測試，以量測其各項參數之響應。每次實驗開始時，必需先實施熱車程序，其方式為，在額定的負載下，以定速 35 km/hr 熱車至引擎缸頭溫度到達廠商規範後，才開始進行 ECE 40 駕駛模式測試。圖 7 為受測機車之 ECE40 駕駛模式下，各項重要參數之響應。由圖 7(a)之車速跟隨情形顯示，機車動力計控制系統確實可使機車之車速跟隨 ECE40 之規範，圖 7(b)顯示整個駕駛模式下節氣門開度的變化情形，由圖中節氣門開度最大約 20%之情形可見，ECE40 駕駛模式對機車來說，屬於輕負載模式。由圖 7(c)之引擎累積燃油消耗量觀之，一個 ECE40 循環耗油約 20g，耗油率為 38km/l。圖 3-8(d)之引擎轉速和 CVT 後軸轉速的響應，主要用於計算 CVT 之速比響應，以便進一步分析機車的動態特性。



## (7) ECE40 模式下，怠速熄火的省能效果

首先探討過在不改變原機車的噴油控制系統參數下，於 ECE40 駕駛模式中，怠速熄火的省能功效。圖 8(a)為機車有怠速熄火與沒有怠速熄火時，於 ECE40 駕駛模式的燃油消耗之差異量，其中，負的燃油克數表示，有怠速熄火比沒有怠速熄火少消耗的克數。圖中，P<sub>1</sub> 與 P<sub>2</sub> 之間為引擎由熄火再啟動之過程，我們可以觀察出，因為啟動加速過程之增濃，怠速熄火之省油克數減少了，觀察實驗結果可知，引擎熄火再啟動時，啟動與加速增濃過程會減少怠速熄火之功效，每次啟動時，該過程持續約 20~30 sec，其持續時間會因啟動時，引擎之溫度而有所不同。P<sub>2</sub> 與 P<sub>3</sub> 之間為近似直線，表示有怠速熄火和沒有怠速熄火之運轉條件完全相同，因此燃油克數的差值為零，此一結果更可以確認油耗計之重複性。P<sub>3</sub> 與 P<sub>4</sub> 之間為怠速熄火所減少的耗油量。經過連續五個循環的平均值顯示，一個 ECE 40，扣除發動引擎時，起動與加速增濃的消耗，大約可省下 2.5 g 的燃油。

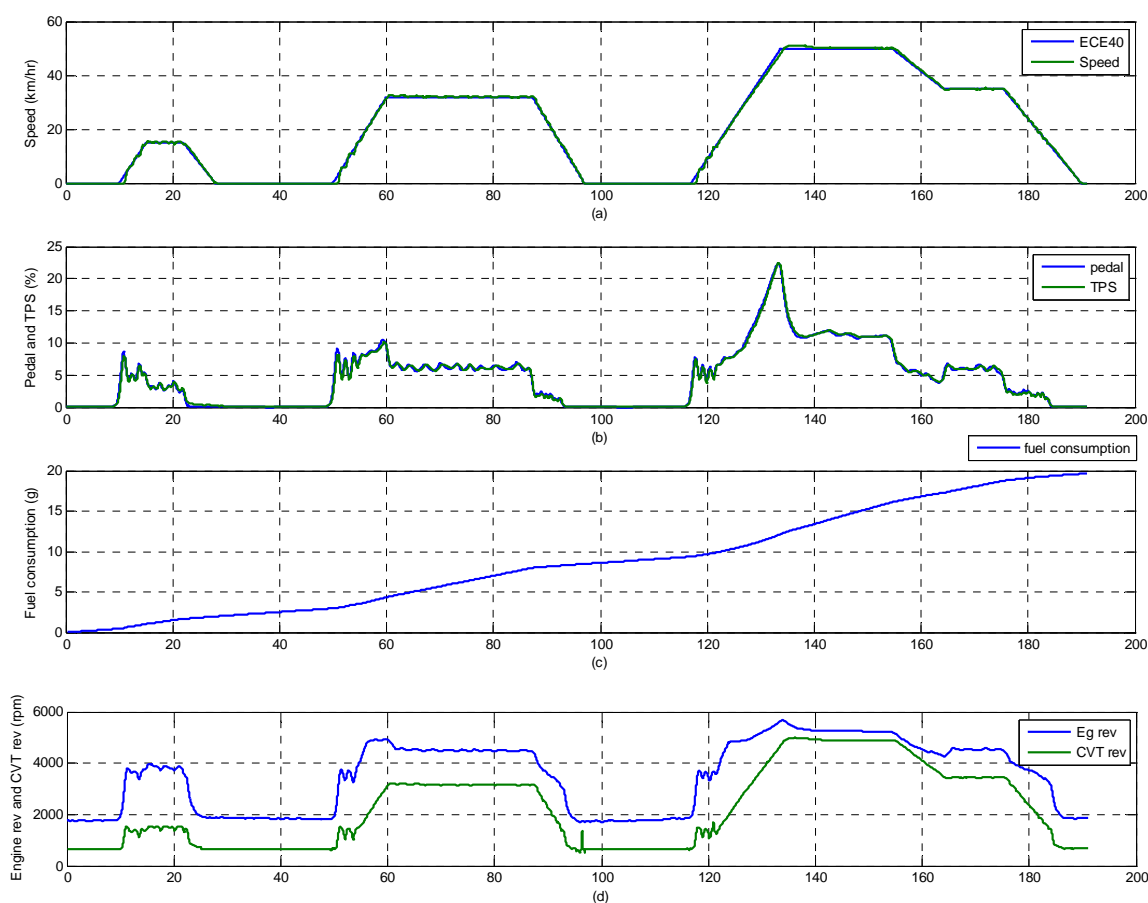


圖 7 125cc 噴射機車之 ECE40 駕駛模式響應：(a)車速跟隨情形;(b)節氣門開度;(c)引擎累積燃油消耗量;(d)引擎和 CVT 被動盤轉速響應。

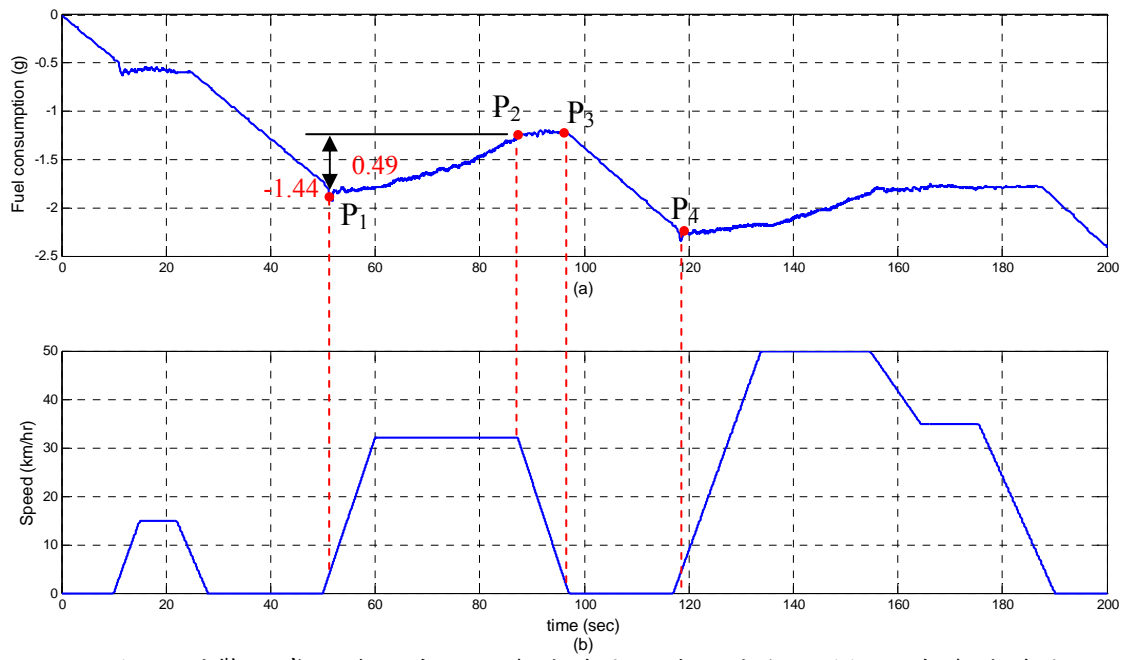


圖 8 引擎正常工作溫度下，怠速熄火之省能分析：(a) 沒有怠速熄火與有怠速熄火的燃油消耗之差異量變化；(b) ECE 40 車速變化

### (8) 提升怠速熄火功效之策略

為了提升怠速熄火之功效，我們在原機車上加入小功率的輔助動力系統，並設計相關的控制模組與策略，如圖 9-11 所示。其中，馬達採用 24V370W 無刷馬達，安裝於後輪；充電系統方面，除了原機車之 12V 磁電機之外，另外加裝 24V600W 發電機與充電控制系統；電池為 24V20AH 鋰電池；另外設計電子節氣們，配合 idle stop 之控制，在底盤動力計上，以 ECE40 型車模式，實驗驗證實際省能效能。

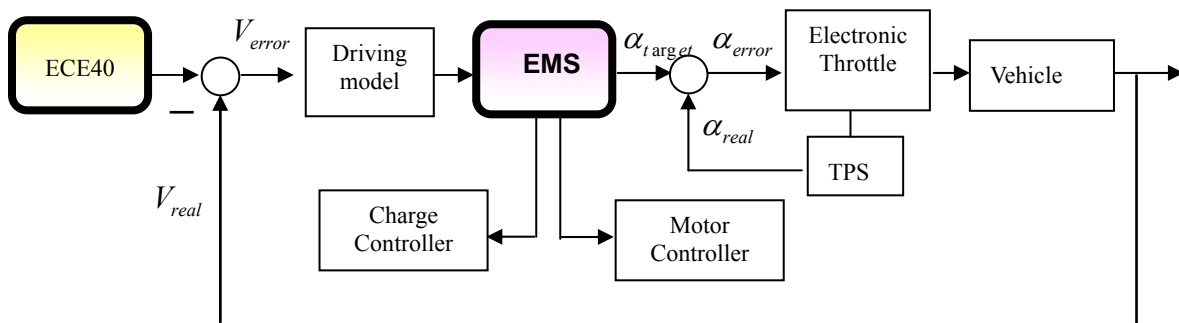


圖 9 控制方塊圖



圖 10 輔助馬達配置實體圖



圖 11 發電機實車配置圖

利用上述之硬體架構，本計畫所擬定之控制策略為：

- 實施怠速熄火
- 馬達動力的輔助範圍為 0~25 km/hr。
- 機車起步時，以馬達使機車加速至某一車速後才啟動引擎，然後適當分配引擎與馬達之出力比例，以減少引擎啟動與加速增濃的影響。
- 在減速階段車速低至某一個速度時，馬達取代引擎出力，引擎於符合怠速熄火之條件時熄火。
- 發電機於某一最佳效率之車速時充電。

圖 12 為已經有怠速熄火功能之機車，在 ECE40 行駛模式下，探討加入輔助動力之省能成效實驗結果。圖 8(a)為有輔助動力與沒有輔助動力時，於 ECE40 駕駛模式的燃油消耗之差異量，其中，負的燃油克數表示，有輔助動力比沒有輔助動力少消耗的克數。圖中， $P_1$  與  $P_2$  之間為引擎由熄火再啟動，且有輔助動力與電池回充之過程。我們可以觀察出，在輔助動力下，雖然電池有回充而消耗能量，但因為啟動加速過程之增濃效應減少了，有輔助動力的省油克數仍然持續增加。 $P_2$  與  $P_3$  之間為直線，表示有輔助動力與沒有有輔助動力之運轉條件完全相同，都處於熄火狀態，因此燃油克數的差值為零，此一結果更可以確認油耗計之重複性。經過連續五個循環的平均值顯示，一個 ECE 40 行駛模式，同時加入怠速熄火和複合動力，比只加入怠速熄火節省 1.5 g 燃油。與原車相較，共節省 4 g 燃油。

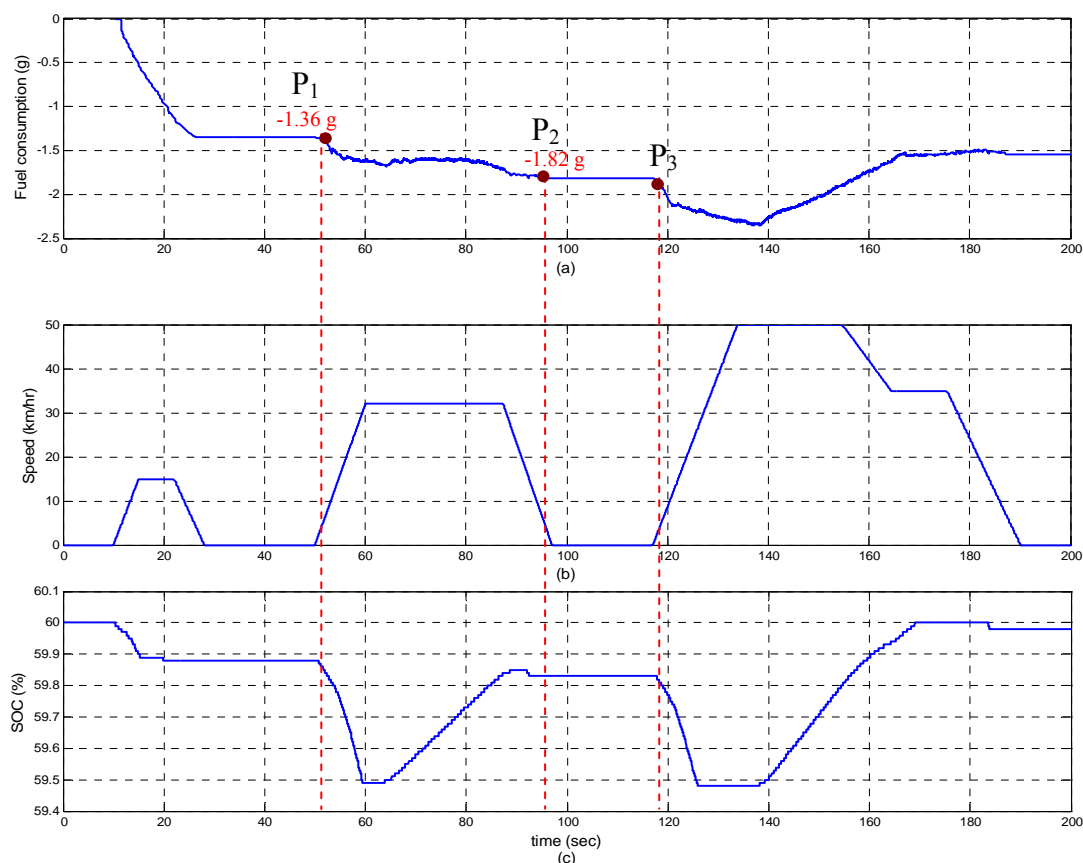


圖 12 輔助動力之省能成效分析：(a) 有加入輔助動力與沒有的燃油消耗之差異量；(b) 車速變化；(c) 電池

### 3-2. 機車騎士於停等區吸入污染物預測模式建立

一般從理論來說，點濃度擴散的濃度隨距離的平方成反比，所以當你進入停等區內時由於距離減少所以污染濃度會隨距離的減少，快速的增加，這就是為何你進入停等區內為何很快聞到機車尾氣的臭味，就是因為濃度大增的原因。而這就是造成您健康產生風險的緣由。但是重點是停等區的污染並不是真正的點污染型態，因此要如何估算，風險如何評估是本計劃中要研究的。

為了了解停等區內之污染。本計劃將以三方面來進行研究：(1) 實驗量測、(2) 建立評估模型、(3) CFD 模擬。

#### (1) 實驗量測

實驗量測主要是模擬上下班，交通擁擠時，停等區內的機車幾乎肩並肩的情形。以一個停等區 6m×3m 的區間擺放 9 台機車，並將機車的怠速調整成 0.5%，在第二排中間的車子上，使用 5-gas 廢氣分析儀量測 CO 的濃度值。實驗的配置與所使用的儀器如圖 13 所示。圖 14 為機車騎士鼻子所聞到的 CO 濃度隨時間的關係圖，圖中表明了機車騎士所聞的 CO 濃度隨時間的增加而增加，當時間到達 110 秒後即達 CO 的濃度 200ppm。值得注意的是：停等區內之排氣污染濃度高，此研究是以 CO 為例，而 CO 與空氣並無其他反應，所以所計算出來的值可以直接做線性加成，例如：實驗中機車的怠速 CO 為 0.5%，所得到的結果是 110 秒後即可達 CO 濃度 200ppm；那麼若是機車的怠速 CO 為 3%，所得到的結果是 110 秒後即可達 CO 濃度 1200ppm，都是呈現 6 倍的關係。從圖 14 中也可以看出當機車的怠速 CO 為 3%，30 sec 內即會感受到 400ppm 的一氧化碳。相同的結果可以推論出排氣管排出的其他的有毒廢氣，只要這些廢氣排出後與空氣中其他氣體的化學反應不快時。例如：排氣管排出的有毒廢氣如 VOC、苯、醛酮類、PM2.5 等的濃度也可以適用。所以我們也可以推論：這些廢氣在停等區內的濃度也都較停等區外高，對民眾的健康有一定程度的影響。一般對民眾健康有影響的機車廢氣如表 2 所示[3-10]。

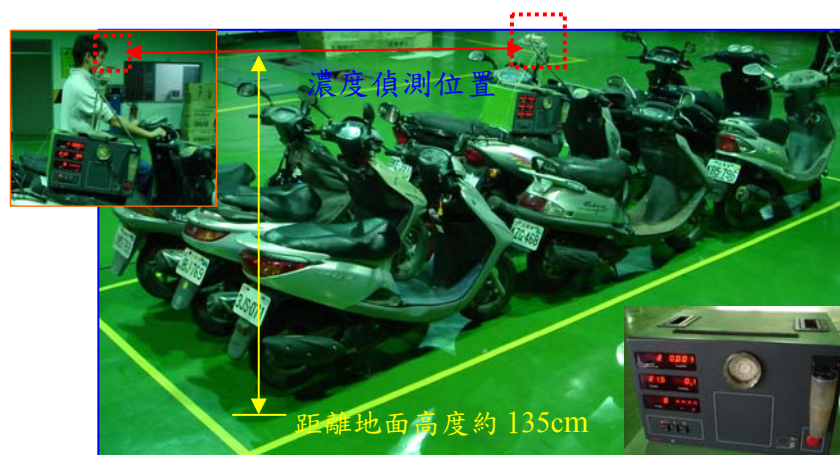


圖 13 停等區摩托車實驗架構

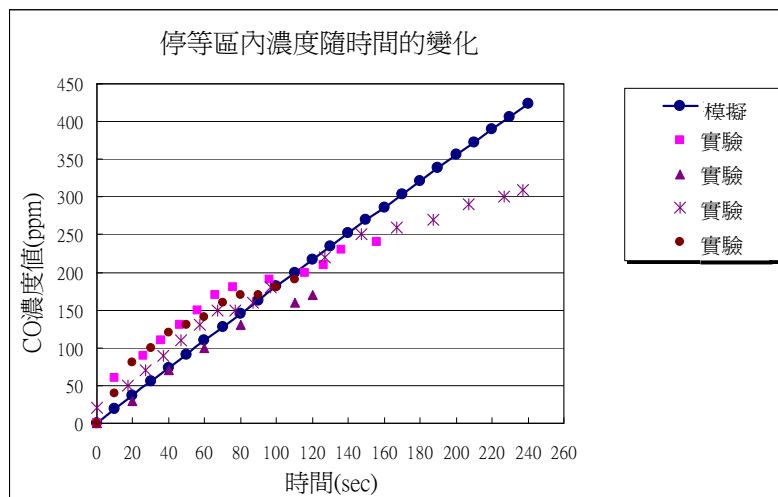


圖 14 停等區內濃度與時間之相關性

表 2 健康風險評估參數[8,9]

類別	有害空氣污染物		慢性危害參考曝露值 Chronic Inhalation (ug/m3)	單位致癌因子 Inhalation Unit Risk (ug/m3) <sup>-1</sup>
揮發性 有機物	Benzene	苯	60	2.9×10 <sup>-5</sup>
	Ethylbenzene	乙苯	2000	--
	n-Hexane	正己烷	7000	--
	Styrene	苯乙烯	900	--
	Toluene	甲苯	300	--
	m,p-Xylene	間,對-二甲苯	700	--
	o-Xylene	鄰-二甲苯	700	--
	1-3,Butadiene	1,3 丁二烯	20	1.70×10 <sup>-4</sup>
醛酮 污染物	Formaldehyde	甲醛	9	2.7×10 <sup>-6</sup>
	Acetaldehyde	乙醛	0.06	--
	Acrolein	丙烯醛	3	6.0×10 <sup>-6</sup>

## (2) 停等區污染物濃度預測模式

當上下班時，交通擁擠時，停等區內的機車幾乎肩並肩。此時，停等區內機車之廢氣從排氣管出來時，會因為外界物體（人加上車輛）的阻擋，而使得廢氣瞬間對流至人車以外的空間。計畫中提出一個為快速混合的模式用來評估停等區內的污染值。假設停等區內的體積（騎乘者鼻子以下）為  $V$ ，人與機車所佔的體積分別為  $V_p$  與  $V_m$ ，機車數量為  $n_m$ ，人的數量為  $n_p$ ，所以在停等區內的可充滿氣體空間為  $(V - n_p V_p - n_m V_m)$ 。假設機車怠速的 CO 濃度為  $Y_{CO,0}$ ，每單位時間機車怠速排出的體積流量為  $m$ ，經歷的時間為  $t$ ，當時空間的濃度為  $Y_{CO}(t)$ ，寫出下列方程式：

$$\dot{m} Y_{CO,0} - \dot{m} Y_{CO} = (V - n_p V_p - n_m V_m) \rho \frac{dY_{CO}}{dt} \quad (13)$$

$$Y_{CO}(t=0) = 0 \quad (14)$$

當假設  $\rho$  為常數時，(1) 式為一常微分方程式，結合(2)式可以解出：

$$Y_{CO}(t) = Y_{CO,0} \left( 1 - \exp\left(\frac{-mt}{\rho(V - n_p V_p - n_m V_m)}\right) \right) \quad (15)$$

假設一個停等區內 6 公尺×3 公尺，內共有 9 台車子，所以  $V=24.3\text{m}^3$ ， $V_p=0.07\text{m}^3$ ， $V_m=0.5\text{m}^3$ ，其中  $n_m=9$ 。假設在最擁擠狀態每車在兩人共 18 人  $n_p=18$ ，125c.c.怠速約  $0.0006\text{m}^3/\text{sec}$  代入這些值至程式(15)可以得到如圖 14 所示的圖形。圖中表明在 4 分鐘內停等區內中間那人所吸進的一氧化碳隨時間的變化趨勢，圖中表明濃度在短時間內是隨時間呈現正比關係。圖中也顯示實驗量測的值，圖中顯示二者趨勢相當。所以在擁擠時此快速混合模式，可以模擬交通擁擠時，停等區內濃度變化。由程式可以計算出，當怠速 CO 濃度為 3% 時，約在 30 秒內鼻子附近的一氧化碳濃度可達 400ppm。



### (3) 利用 CFD 模擬實際停等區污染物濃度

一般人在停等區所感受到的污染情形，除了上述的快速混合的情境外，應該還有一種情境為前方排氣管的廢氣直接對著後方機車騎士的情形。這樣的情境並無法以上述的快速混合模型來預測駕駛者感受的污染物濃度，所以計畫中提出以 CFD 的方法來模擬。計畫之初以單一排氣管的 CFD 模擬與實驗量測作驗證 (validation)，以驗證 CFD 方法的可行性；圖 15 右為單一排氣管的排出的污染物濃度分佈圖，計算中假設排氣管的管徑為 2cm，排氣速度假設為 2.5m/sec，氣體排出濃度為 0.5%，溫度為 330K。由圖中可以發現，由於浮力的效應使得排氣向上流動，形成類似一個噴流 (jet) 的情形。因此，當機車駕駛者位於噴流的路徑時就會感受到廢氣的影響。圖 15 左為噴流中心線 CO 濃度與實驗值隨距離的關係圖，圖中顯示趨勢相符合，顯示 CFD 模擬的正確性。圖中的結果為當排氣管怠速 CO 濃度為 0.5% 時所計算的結果。使用多項式迴歸可以看出噴流中 CO 的濃度約隨著距離的 1.5 次方成反比，所以當機車騎士鼻孔距離排氣管出口越近時，所聞到的廢氣濃度快速變高。這個結論可以用來粗略與估算騎乘者進入停等區內短時間內即可因噴流的效應而吸入多高濃度的廢氣。例如以此簡單模型來說，當排氣管怠速 CO 濃度為 3% 時，騎乘者(高 170cm)在 10 sec 內即會感受到 750ppm 的 CO 濃度。若直接以 CFD 計算圖 16 為機車騎士在停等區內受前方排氣管直接吹到時的濃度分布圖，圖中顯示機車騎士鼻子約有 500ppm 的一氧化碳濃度。圖中也顯示出機車本體與駕駛者本身各處的濃度並不相同，這主要是排氣管噴出的廢氣受到車體的導流而流入機車與騎士之間，這可以從圖 17 的流線圖看出。圖中顯示：廢氣濃度的分佈主要受機車幾何形狀的影響，影響的參數有機車與前排氣管的距離、機車騎士鼻子的高度、機車怠速的流速與機車的形狀，這些參數間的交互作用相當複雜，不易以簡單的數學模式來做模擬。本計畫提出 CFD 方法用來模擬停等區的濃度，可為停等區的研究帶來一個新的方法。

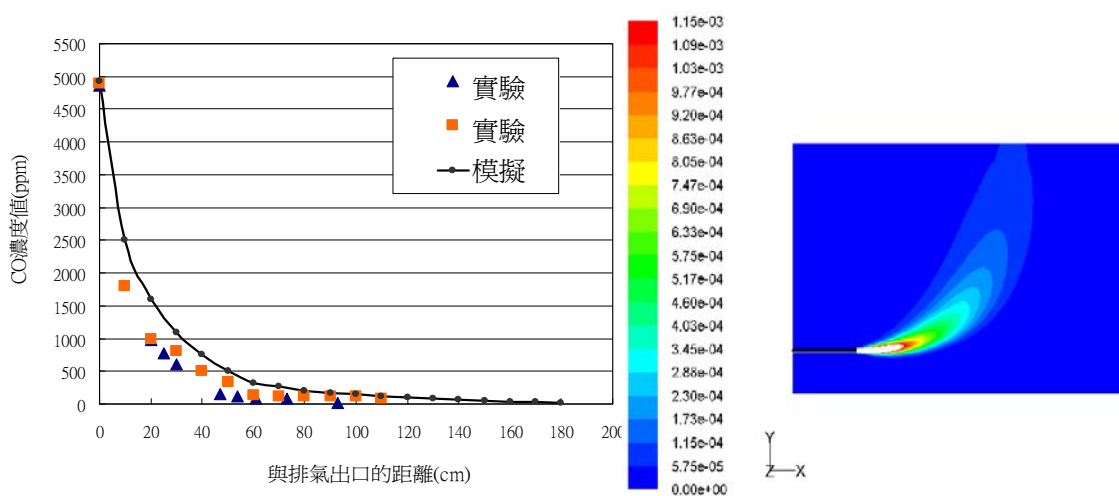


圖 15 停等區內濃度分佈圖

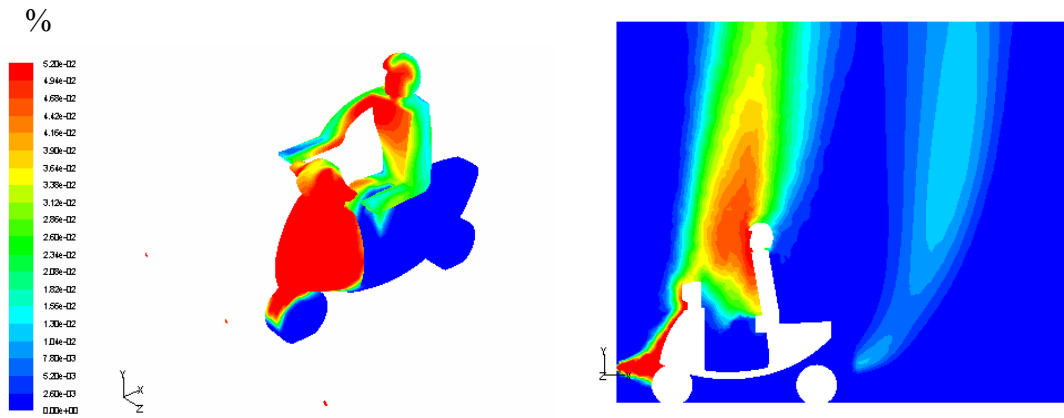


圖 16 停等區內濃度分佈圖

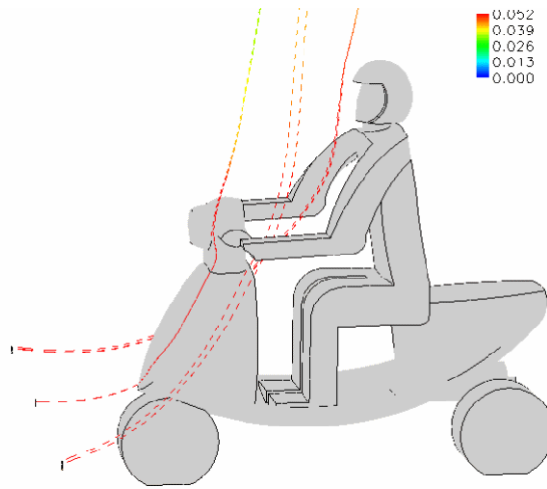


圖 17 廢氣排放路徑之流線圖



#### 四、結論

(1)影響怠速熄火的省能效果與排污檢量的效果有許多的因素，例如，冷車增濃和啟動增濃都會造成額外的燃油消耗，本計畫提出提升怠速熄火成效之控制策略，針對本計畫所測試機車之實驗結果，在熱車之 ECE40 駕駛模式下，各種運轉模式怠速熄火之節能成效為：

- 純引擎平均一個 ECE40 循環耗油 20 g，耗油率為 38km/l 的燃油消耗。
- 在純引擎實施怠速熄火，一個 ECE40 循環耗油 17.5 g，每公里省油 2.5g，耗油率為 43.5km/l，大約提升 12.5 % 的省能效能，且成本低廉，使用中機車可改裝。
- 若加入複合動力與怠速熄火策略，一個 ECE40 循環耗油 16g，每公里省油 4g，耗油率為 47.6km/l，大約提升 20 % 的效能，但成本較高，適於新車安裝。

(2)在機車騎士於停等區吸入污染物的研究方面，計畫中發展了一個停等區污染物濃度預測模式，結果顯示，當機車怠速 CO 濃度為 3%時，在交通擁擠的停等區內，約 30 秒內機車騎士所吸入的一氧化碳濃度可達 400ppm。若當前方排氣管又剛好朝向騎士時，則約在 10 sec 內即會感受到 750ppm 的一氧化碳。摘錄此一研究之重要結論如下：

- 排氣管後端汙染氣體濃度隨距離的 1.5 次方成反比，距離排氣管越近，廢氣濃度則快速升高，因此擁擠的機車停等區內，機車騎士將承受吸入高污染物之風險。
- 有關停等區內之排氣汙染濃度研究中，本計畫是以 CO 為例。相同的結果可以推導出，擁擠的機車停等區內，機車騎士所吸入的排氣管排出的有毒廢氣如 VOC、苯、醛酮類、PM2.5 等的濃度也會相當高，所以對騎士健康將有顯著影響。以台灣大學環境工程研究所鄭福田教授與成功大學環境工程研究所蔡俊鴻教授研究結果為例，機車怠速 PM 濃度於觸媒前約  $10^8$  個/cm<sup>3</sup>，觸媒後約  $10^4\sim 10^8$  個/cm<sup>3</sup>，根據本計畫之推估，此一高濃度 PM 的百分之一，將出現於機車騎士之呼吸道入口，其健康風險不可輕忽。

(3)在怠速熄火之污染減量成效方面，以使用中機車觸媒已經失效之觀點而言，本計畫之 125cc 機車怠速排氣流量之實驗值為  $0.0008\text{m}^3/\text{sec}$ ，一般四行程機車觸媒前之 CO 之平均濃度約為 3%，HC 為 300PPM，一個 ECE40 循環的怠速時間為 52sec，若所有怠速時間均熄火，則粗估每部機車每公里之污染減量之成效為：

$$\text{CO 排放減量} : \frac{0.0008\text{m}^3/\text{sec} \times \frac{3}{100} \times 52\text{sec} \times 28\text{g}/\text{gmole}}{\frac{22.4\text{m}^3}{1000\text{gmole}} \times 1.02\text{km}} = 1.53\text{g}/\text{km}$$

$$\text{HC 排放減量} : \frac{0.0008 \text{ m}^3/\text{sec} \times \frac{300}{1000000} \times 52 \text{ sec} \times 86 \text{ g}/\text{gmole}}{\frac{22.4}{1000} \text{ m}^3/\text{gmole} \times 1.02 \text{ km}} \times 2 = 0.094 \text{ g}/\text{km}$$

因為全國參加定檢機車約六百萬輛，若天一百萬輛行駛，每輛每天行駛 10 公里，觸媒平均效率為 50%，則全國實施怠速熄火，每年可減量數為，CO 排放減量約 2793.5 公噸，HC 排放減量約 171.55 公噸。在 CO<sub>2</sub> 排放減量方面

$$\text{CO}_2 \text{ 排放減量} : 1000000 \times 10 \text{ km} \times 365 \text{ days} \times \frac{3.4 \text{ g}}{1000} \times \frac{1}{0.747} \times 2.1 \times \frac{1}{1000} = 34887 \text{ 噸/年}$$

然而，由省能成效之實驗結果觀之，以本計畫所測試機車而言，其怠速之耗油率為 0.065g/sec，以一個 ECE40 循環的怠速時間為 52sec 計算，若所有怠速時間均熄火省能應為 3.4g，但實驗結果只為 2.5g，CO<sub>2</sub> 排放減量降至 25625 噸/年，其主要原因為熄火再起步加速之暫態過程將增加耗能，而減少熄火之省能功效，同理，排污減量的效果也將減少。本計畫加入輔助動力之策略，CO<sub>2</sub> 排放減量將提升至 41043 噸/年，不但提升省能效果，同時因為減緩熄火再起步加速之暫態過程中，因為引擎之出力減少，將使混合比降低，將提升了排污減量的效果，但是，引擎加速暫態過程之排污量測需要更精密且昂貴的儀器，本計畫無力負擔，將留待未來進一步釐清。

## 五、政策建議

依照機車的排放特性，預估當機車進行怠速熄火控制時，每年可以減少一氧化碳排放量約 2793.5 公噸/年，而碳氫化合物 HC 排放減量約 171.55 公噸/年。在節能減碳方面，每年可以節省 16613 公秉的汽油，減少 CO<sub>2</sub> 排放量 34887 噸/年。最重要的是，機車騎士與乘客於等停紅綠燈時，承受了高健康風險之污染物，而台北都會區以外之機車使用者，經常為接送孩子上學之父母與學生，也就是說，我們的下一代每天承受高健康風險之污染物，為此所付出的社會成本之高，難以估計。建議於未來機車六期環保法規中，增加實施強制機車具備怠速自動熄火與啟動控制裝置之規定，並且提前預告業者此一政策，使其有研發相關技術之時間，而預估此一技術成熟之時程約為三年。

## 參考文獻

- 1) Fluent Inc., "FLUENT 6.3 User's Guide", (2007)。
- 2) Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," McGraw -Hill, New York,(1980)
- 3) 陳美如,"高速公路收費站人員及加油站作業員工揮發性有機物質之暴露危害評估," 國立成功大學環境醫學研究所 碩士論文(2002)
- 4) Wixtron RN, Brown SL, 1992. Individual and population exposures to gasoline. Journal of exposure analysis and environmental epidemiology 2: 23-78.
- 5) Chan CC, Ozkaynak H, Spengler JD, Sheldon L, 1991. Driver exposure to volatile organic compounds, CO, ozone and NO2 under different driving conditions. Environmental Science and Technology 25: 964-972.
- 6) Chan CC, Lin SH, Her GR, 1994. Office worker's exposure to volatile organic compounds while commuting and working in Taipei city. Atmospheric Environment 28: 2351-2359.
- 7) Kuo HW, Wei HC, Liu CS, Lo YY, 2000. Exposure to volatile organic compounds while commuting in Taichung Taiwan. Atmospheric Environment 34, 3331-3336.
- 8) 張安伶,"油品成分對機車引擎排放氣態污染物影響研究,"國立成功大學環境工程學系碩士論 文(2006)
- 9) 張笙又,"生質柴油燃料比例對引擎排放有機氣態污染物特徵影響,"研究國立成功大學環境工程學系碩士論文(2006)
- 10) CARB, Consolidated Table of OEHHA/ARB Approved Risk Assessment HealthValues, 2004.