

智慧型路肩系統應用於高速公路瓶頸路段之探討

孫瑀¹ 陳煒騰² 陳鵬升³

摘要

近年來，台灣各地都會區發展迅速，地區道路容量趨近飽和，尤其在尖峰時段均造成常態性壅塞之狀況，復各區域高快速公路網逐漸成形，用路人藉由高速公路作為通勤要道之情形亦屢見不鮮，故造成國內目前許多高速公路路段已產生經常性之壅塞，直接衝擊城際旅次之往來行為。；此以國道一號泰山到五股路段、國道三號中和到土城路段等最為明顯，而此一現象亦同樣存在於國際間其他城市。基於此，遂有智慧型路肩系統之概念衍生，且於實施後獲得良好之成效。

本文即介紹法國採用智慧型路肩系統有效改善高速公路交通瓶頸之成功案例，並據以探討國內研擬本土性解決方案之可行性，以提供交通規劃部門參考。所謂「智慧型路肩系統」係整合影像事件偵測、可變資訊(CMS)、移動式路肩柵欄等系統設備，並搭配路肩彩色鋪面以進行路肩動態開放控制。其運作模式為當交通量高於所設定之門檻值時，交控中心可透過可變資訊顯示及操作移動式路肩柵欄以告知用路人可行駛路肩，並於開放前透過影像事件偵測確保路肩開放之高安全性，如此將可於合理成本下有效增加道路容量。

關鍵詞：智慧型路肩系統、影像事件偵測、路肩動態開放

一、前言

隨著台灣經濟起飛、私人運具快速成長，各區域原有之道路容量亦趨近飽和，加上台灣高快速公路網已漸成形，除重大節日所形成之交通壅塞外，國內許多高速公路路段儼然成為該地區於尖峰時段之重要通行路徑，如此將影響城際旅次甚或高速公路整體運行之效率。如國道一號泰山到五股路段、國道三號中和到土城等路段即皆為尖峰時間用路人以高速公路作為通勤路徑而形成之交通瓶頸路段。為解決此一狀況，高公局遂於民國90年起於國道各路段實施定時開放路肩措施以紓解交通量。國外許多先進國家亦有相同之壅塞狀況發生，例如法國巴黎東部A4及A86公路交會處為歐洲最大交通瓶頸處，平均每天行經250,000輛以上車次，車速約只有每小時15~30公里，尖峰時間塞車長度更可達10公里，而其交通單位選擇以**智慧型路肩系統**作為紓解交通問題之方案。故本文將藉由國外應用之成功案例，探討國內適用之可行性，以提供交通規劃部門參考。

二、現況分析

¹ 全徽道安科技有限公司總經理(聯絡地址：台北縣新店市寶中路99號3樓，電話：02-29116623，E-mail:murphy@sunsky.com.tw)。

² 全徽道安科技有限公司企劃部經理(E-mail:eric@sunsky.com.tw)。

³ 全徽道安科技有限公司企劃部專案工程師(E-mail:james@sunsky.com.tw)。

為紓解高速公路壅塞情況，高速公路局採用如開放路肩、開放便道、匝道儀控與高乘載管制等多項交通疏導措施。由表 1 可知，目前高速公路局於國道 1 號、3 號及國道 10 號等多處瓶頸路段皆有實施定時開放路肩措施；此外，國道 5 號沿途有雪山等多處隧道，為維護隧道行車安全，其相關行車限制條件及道路環境影響(如隧道內外光線變化、隧道封閉空間壓迫感等)直接迫使車輛通行能力降低，此現象於交通量大時最為明顯；基於此，民國 97 年起，高公局於每周日 13~21 時實施常態性路肩開放策略，惟仍可視當日壅塞狀況機動延長開放時段。

表 1、國道 1、3、10 號實施開放路肩措施路段及時段一覽表

| 路線 | 路段 | 時段 | 實施日期 |
|---------------------------------|---------------------------|---|--|
| 國道 1 號 | 基隆—五堵(南下) | 每日 6:00~9:00 | 90.12.15 起 (97.12.16 起取消 開放路肩) |
| | 八堵—五堵(南下) | 假日 16:00~19:00 | 92.02.28 起 (97.12.16 起取消 開放路肩) |
| | 東湖—內湖南京東路 出口(南下) | 每日 7:00~9:00 假日 16:00~19:00 | 90.01.02 起 92.02.28 起 |
| | 桃園—機場系統(南下) | 每日 10:00~14:00、 16:00~19:00 | 92.12.01 起 |
| | 平鎮系統—幼獅(南 下) | 每日 7:00~9:00、 16:00~19:00 | 96.05.10 起 |
| | 竹北—新竹 A(公道五 及光復路)(南下) | 每日 7:00~9:00 | 96.07.16 起 |
| | 台中系統—豐原(南下) | 每日 16:00~19:00 | 92.08.01 起 |
| | 內湖南京東路入口— 東湖(北上) | 每日 16:00~19:00 | 94.07.01 起 |
| | 楊梅—幼獅(北上) | 每日 7:00~9:00、 16:00~19:00 | 96.05.10 起 |
| | 台南系統(北上出口) | 每日 7:00~9:00 | 98.01.10 起 |
| | 204K+400—203K+600 (北上) | 假日 14:00~19:00 | 98.05.10 起 |
| 201K+680—198K+820 (彰化系統北上出口) | 假日 14:00~19:00 | 98.05.10 起 | |
| 國道 3 號 | 中和交流道南下出口 匝道 | 每日 7:00~9:00、 16:00~19:00 | 91.09.03 起 |
| | 中和交流道北上入口 匝道 | 每日 7:00~9:00 | 91.09.03 起 |
| | 龍潭—大溪(北上) | 週一至週四 16:00~19:00 週五 14:00~19:00 假日 14:00~19:00 | 95.11.06 起 92.08.15 起 91.10.27 起 |
| 國道 | 旗山端(32.7 公里以 | 假日 9:00~13:00 | 97.08.01 起 |

| 路線 | 路段 | 時段 | 實施日期 |
|------|--------|----|------|
| 10 號 | 東)(東向) | | |

現行定時開放路肩措施之「固定」時段係依據歷史資料進行規劃，其缺點為無法因應實際交通車流狀況即時調整開放時間，對於減輕交通壅塞情形仍屬有限。另於開放時段內，開放路肩之路段起訖點皆僅以靜態標誌牌面告知用路人相關資訊，因路肩係提供遇特殊情形下供車輛暫停及通行救援之用，故若無法讓用路人清楚明瞭相關路肩開放資訊，則將造成後續嚴重之交通安全問題。

鑒於上述，若能基於智慧型運輸系統之概念，佐以相關交通控制管理設備研擬完整之解決方案與配套措施，以進行動態(不定時)之開放路肩策略，除可提升路肩開放之實施效率外，更可增進路肩開放之安全性。

三、案例探討

3.1 智慧型路肩計畫緣起

A4/A86公路為法國境內兩條重要聯絡道路，相關路網及主要幹道如圖1所示，A86公路為環繞巴黎之環狀公路、A4公路為主要聯絡巴黎市區與東部近郊之高速公路。本案例所探討之A4/A86公路交會處即為法國巴黎交通當局利用智慧型路肩系統改善交通瓶頸路段之第二個計畫，而第一個實施智慧型路肩計畫之路段則為A3/A86公路之交通瓶頸路段。

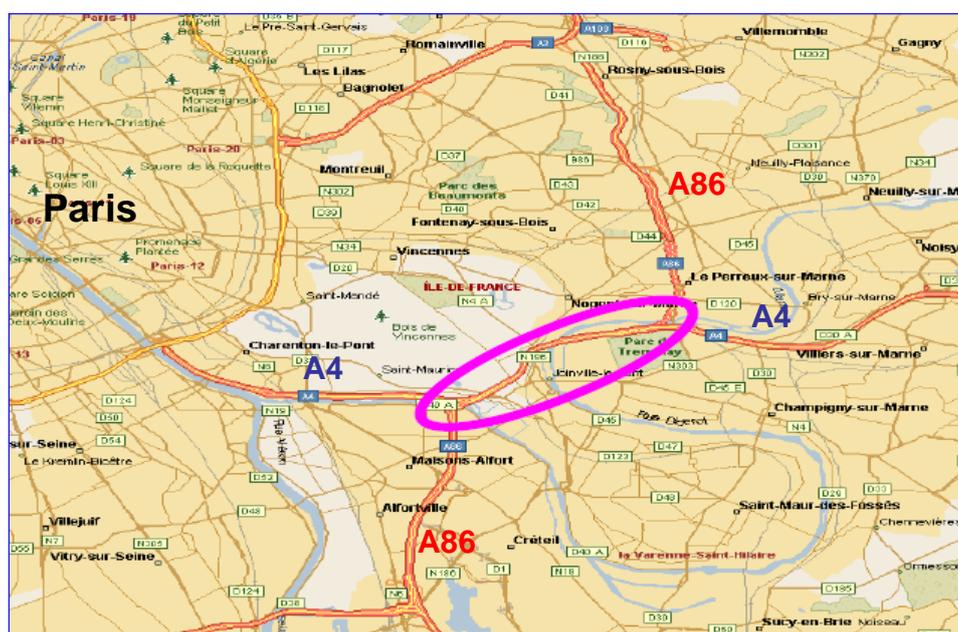


圖 1、A4/A86 路網及主要幹道圖

A4/A86公路區段於每日早晚尖峰時段，同一時間內皆平均累積約10公里以上之壅塞長度。圖2則顯示A4/A86公路瓶頸處於早上尖峰時段實施智慧型路肩計畫前之各路段平均車速，其中愈接近交會處之平均車速約僅15公里/小時，足見其壅塞程度。

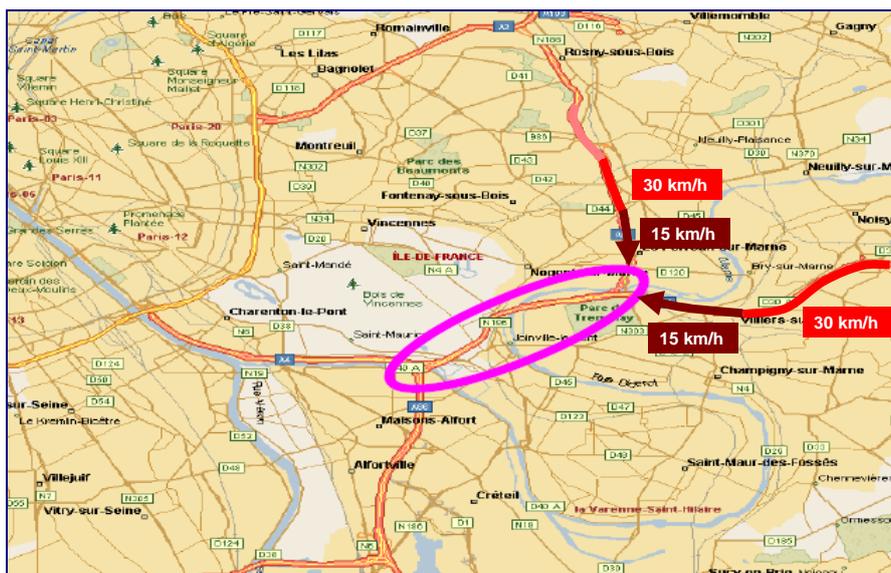


圖 2、A4/A86 區域日間尖峰時段平均車速

有鑑於A4/A86交會區壅塞狀況對民眾所造成之通行不便，巴黎交通當局於1995年時，原預計以建造隧道方式來解決該問題，所評估之建設工程成本約為8億歐元，不僅需耗費龐大金錢且亦需經歷建造時之交通黑暗期，更嚴重衝擊當地之自然環境。因此，法國交通當局開始評估其他可增加道路容量以紓解交通量但負擔與衝擊較小之其他解決或替代方案。因而於2000年時，開始嘗試一些可行方案，其中包含：

- (一) 增加車道：即透過減少既設車道寬度的方式，重新利用既有路幅可用空間畫設新車道以增加車道數，且仍需維持緊急路肩車道。此解決方案將可使得車道數增加進而增加道路容量，但前提為原有之道路寬度需足夠才得以應用。
- (二) 使用緊急路肩：此方法為暫時允許車輛使用緊急車道，但在使用緊急車道的同時須加上完善之配套措施。此方案尚須重新設計車道寬度以達到可使用緊急車道之合理寬度。
- (三) 可變動態車道：創新的解決方案，概念為根據交通需求，進而調整車道寬度或數量，但此方案尚未經過完整測試。

巴黎當局基於改善A3/A86瓶頸路段之成功經驗，因此決定於2005年決定在A4/A86交通瓶頸路段進行智慧型路肩系統計畫。此計畫的主要目的為增加道路容量以紓解過多的車潮。圖3與圖4即為A3/A86公路瓶頸路段施行智慧型路肩系統計畫前後之流量/速度分佈圖，由此可看出實施智慧型路肩後，該路段道路容量隨即有明顯之增加。

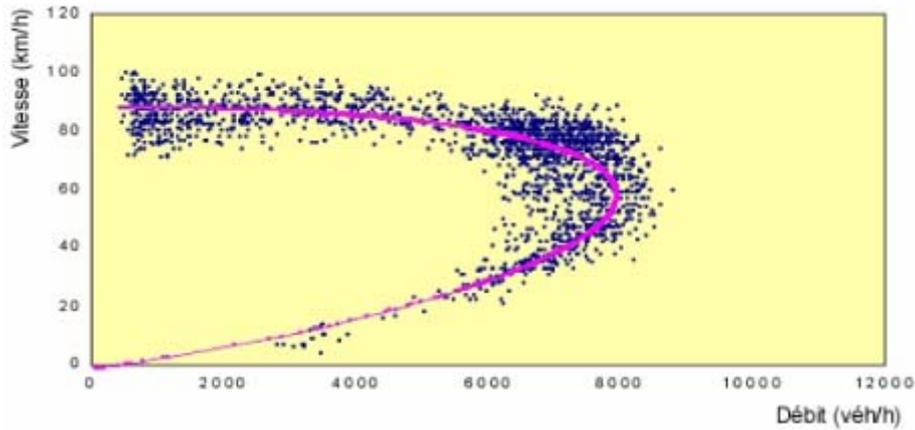


圖 3、A3/A86 流量/速度分佈圖（實施前）

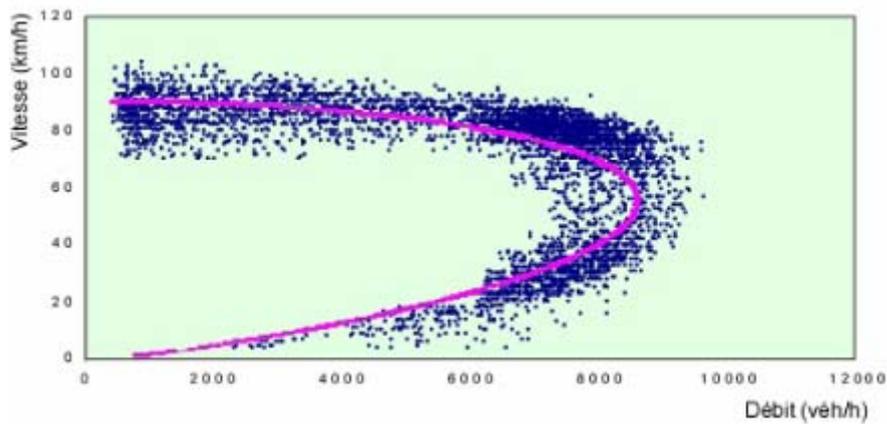


圖 4、A3/A86 流量/速度分佈圖（實施後）

此外，如表2所示，A3/A86瓶頸路段於實施智慧型路肩後，入境巴黎方向車道可增加每小時660輛車次的交通量；出境巴黎方向每小時可增加1,070輛車次的交通量，道路容量增加率可謂相當顯著，且當局亦相當滿意此結果。由於A3/A86與A4/A86兩瓶頸路段區域狀況相似，故當局預期A4/A86智慧型路肩系統計畫應可有相同之道路容量增加之改善效應。

表 2、A3/A86 道路容量變化統計表

| 道路容量 (輛/小時) | | | |
|-------------|-------|-------|-------|
| 入境巴黎 | | 出境巴黎 | |
| 實施前 | 實施後 | 實施前 | 實施後 |
| 7,890 | 8,550 | 8,100 | 9,170 |

3.2 智慧型路肩計畫內容

智慧型路肩系統係藉由車輛偵測設備所蒐集之即時車流狀況加以分析，當車流超過所設定之門檻值時，並透過影像事件自動偵測設備確認路肩淨空狀況後，即以相關顯示設備告知用路人路肩開放資訊，以動態地增加道路容量。

該智慧型路肩開放之設定門檻值係以速度與占有率作為是否開放之依據。目前法國交控中心所設定之開放準則如下：

- (一) 當佔有率超過原有 20%即開放路肩，當少於 15%即關閉。此門檻值之定義為各路段管理單位基於相關資料或經驗設定。
- (二) 當此路段上游之 Nogent subfluvail 隧道內平均車速降低至每小時 15 公里，即開放路肩。

路肩為當車輛發生故障或是供緊急車輛使用之緊急車道，若欲在此高風險的區域上保持最好的安全水準，其首要重點即為如何維持開放路肩前、中、後之高度安全性。因此，法國當局即規劃透過影像式事件自動偵測系統來進行監控路肩整體狀況之重要設備。A4/A86智慧型路肩計畫於每隔250公尺處架設一具影像事件偵測攝影機，共計架設34處。透過影像事件自動偵測系統之先進演算法分析，可於開放路肩之前、中、後，針對路肩停等車輛、路肩散落物等任何影響路肩使用之事件進行偵知，並即時發出警報告知管理單位進行反應，以確保路肩使用之安全性。

其中選擇以影像偵測技術作為確保該計畫實施安全之原因分述如下：

- (一) 於事件發生時可迅速偵知並以警報方式告知管理者。
- (二) 不同於傳統環路線圈功能常受限於道路表面之維護情形，影像偵測技術為模組化且具彈性擴充之系統。
- (三) 提供寬區域偵測，並能夠提供現場即時影像供管理者判斷該事故之嚴重程度。

除藉由影像式事件自動偵測系統之輔助，確保路肩開放前、中、後之安全性外，尚需結合相關資訊發佈設備用以告知用路人目前路肩開放狀況，故可變資訊系統(CMS)、車道管制標誌(LCS)及其他相關顯示設備等實屬必要。另於資訊發佈後，為加強用路人對於路肩使用更清楚明瞭，該計畫亦搭配使用移動式安全柵欄(如圖5所示)及道路彩色鋪面，以發揮引導之功用。



圖 5、可移動式安全柵欄

3.3 智慧型路肩系統之效益

A4/A86瓶頸路段自實施智慧型路肩系統以紓解車潮後，主要有以下效益：

(一) 對道路容量改善之效益

表 3 為 2003 年與 2005 年 A4/A86 瓶頸路段區域交通量之比較，由表中可得知 2003 年入境巴黎之尖峰時間流率為每小時 8,800 輛，2005 年 9500 輛/小時，增加 700 輛/小時(+8%)；2003 年出境巴黎之尖峰小時流率為每小時 8900 輛，2005 年 9800 輛/小時，增加 900 輛/小時(+10%)

表 3、2003 年與 2005 年 A4/A86 區域交通流量比較

| 尖峰小時交通量 流率 | 2003 | 2005 | 淨增量 |
|---------------|------------|------------|------------------------|
| 巴黎入境 | 8,800 車輛/時 | 9,500 車輛/時 | + 700 車輛/時 (+ 8 %) |
| 巴黎出境 | 8,900 車輛/時 | 9,800 車輛/時 | + 900 車輛/時 (+ 10 %) |

在旅行時間部分，如圖 6、7 可得知於實施智慧型路肩方案後，行經 A4/A86 公路瓶頸路段之入境方向平均旅行時間分別可減少 11 分鐘與 17 分鐘，亦即可減少 45%與 56%之旅行時間；在出境方向之平均旅行時間分別可 2 分鐘與 15 分鐘，亦即可減少 20%與 50%之旅行時間。綜合增加交通量與減少旅行時間兩項因素，顯示智慧型路肩系統方案可有效紓解車潮並改善交通瓶頸狀況。

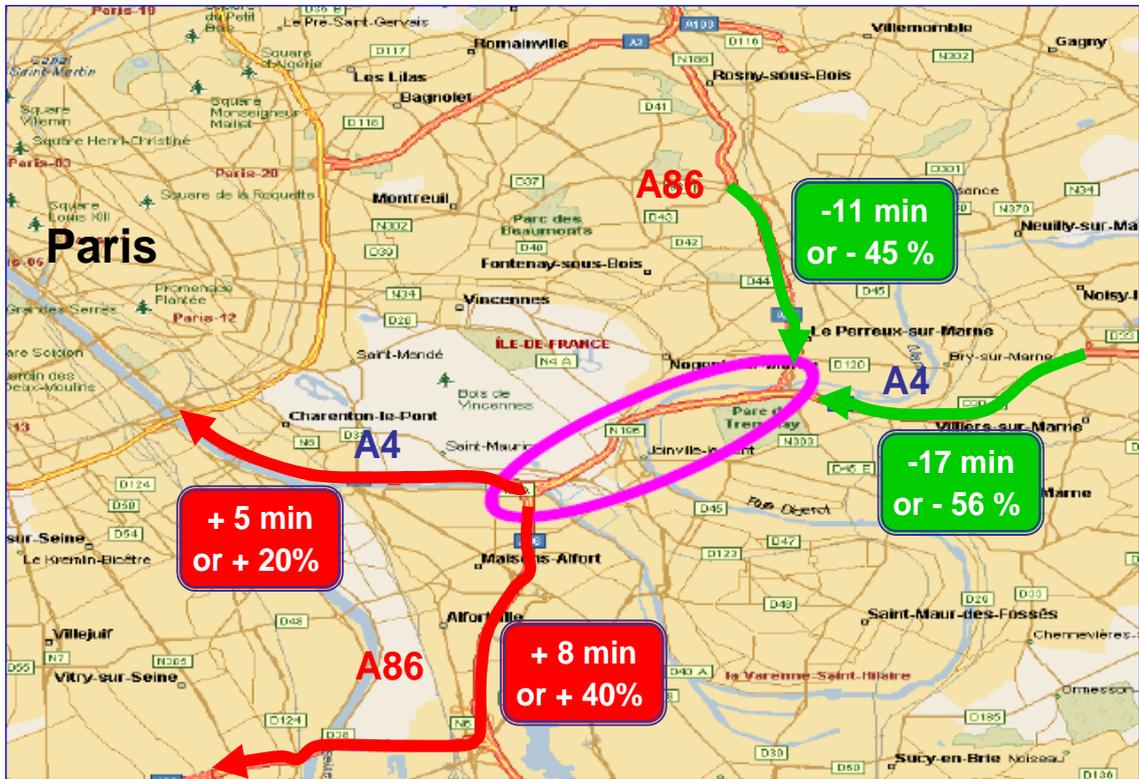


圖 6、入境方向平均旅行時間

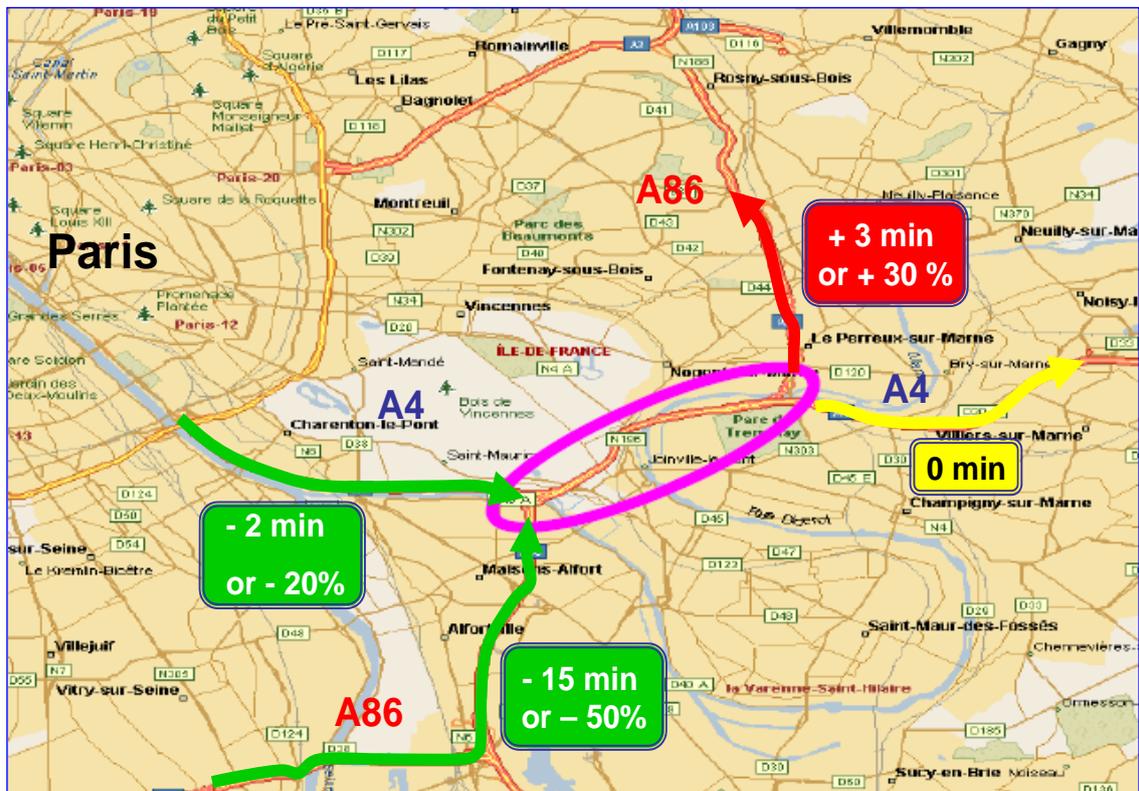


圖 7、出境方向平均旅行時間

（二）對成本與環境之效益

相較於 1995 年評估以興建隧道紓解車潮之 8 億歐元成本，A4/A86 瓶頸路段所實施之智慧型路肩總計畫成本為 1,900 萬歐元，由此可見，採用智慧型路肩之解決方案可獲得極高之效益。而於環境效益上，亦能減少因壅塞所產生之汙染和燃料消耗。

以 A3/A86 智慧型路肩計畫為例：每天約可減少 1 公噸 CO₂ 的排放量，其價值換算約 100 歐元/公噸，其他相關汙染成本的減少約 27.3 歐元/天或 6,825 歐元/年。改善壅塞後可減少當地區域汙染排放 1%(40,000 公里/天)，若每公里價值 0.08 歐元，則可減少 3,200 歐元/天或 800,000 歐元/年。

四、國內應用探討

目前國內以智慧型運輸系統改善交通問題之應用已相當廣泛。法國巴黎智慧型路肩系統有效紓解瓶頸路段之成功經驗值得台灣學習。台灣各區域交控中心已逐步建置完成，建議未來若欲透過智慧型路肩系統以改善高速公路瓶頸路段時，可針對以下幾點進行評估考量：

（一）智慧型路肩設置路段

國內目前各國道實施開放路肩路段約有 15 處，就前述可知，開放路肩主要目的為增加道路容量，但方案本身首重為安全性之考量。依據 96 年統計資料，國道「易肇事」前 10 大路段如表 4 所示。其中，排名第十名之國道 1 號南下豐原交流道路段與目前高公局所實施開放路肩措施之台中系統-豐原(南下)路段位置相近，亦即顯示此處開放路肩發生意外事故之風險相較於其他路段為高。因此，建議可於目前開放路肩中肇事率相對較高路段先行試辦智慧型路肩系統。

表 4、96 年國道易肇事前 10 大路段彙整表

| 名次 | 肇事件數 | 國道 | 方向 | 公里數 | 路段 |
|----|------|-----------------|----|-----|-------------------------------------|
| 1 | 41 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 南下 | 178 | 台中交流道 (178.6) 【進入台中交流道之前 600 公尺】 |
| 2 | 34 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 62 | 中壢交流道 (62.4) 【進入中壢交流道之前 400 公尺】 |
| 3 | 34 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 174 | 大雅交流道 (174.2) 【進入大雅交流道之前 200 公尺】 |
| 4 | 31 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 364 | 鼎金交流道與高雄交流道之間 (362.2-366.5) |
| 5 | 27 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 63 | 中壢交流道 (62.4) 【進入中壢交流道之前 600 公尺】 |
| 6 | 27 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 南下 | 174 | 大雅交流道 (174.2) 【進入大雅交流道之前 200 公尺】 |
| 7 | 26 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 69 | 楊梅交流道 (69.1) 【進入楊梅交流道之前 100 公尺】 |
| 8 | 24 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 南下 | 198 | 彰化交流道 (198.5) 【進入彰化交流道之前 500 公尺】 |
| 9 | 23 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 北上 | 66 | 平鎮交流道與幼獅交流道之間 (65-67.3) |
| 10 | 23 | 國道 1 號 (中山高速公路) | 南下 | 168 | 豐原交流道 (167.6) 【進入豐原交流道之前 400 公尺】 |

1. 路肩開放門檻值之設定

動態開放路肩前題即何時該開放路肩？因此，欲實施智慧型路肩系統前，交通管理單位即需定義開放路肩之門檻值，例如本文探討案例係以佔有率與上游路段平均行駛速度作為是否開放之門檻值定義。為真實正反應並解決該路段之壅塞情況，則可透過相關交通參數進行分析，以求得各區段適宜之開放門檻值。

2. 車輛偵測設備

如同第 2 點所述，為確認車流量是否達到可開放路肩之門檻值，路段中之車輛偵測設備即為蒐集交通參數之來源。除傳統環路線圈式外，應可增加路側式微波雷達偵測器與影像式車輛偵測器進行交通資料之蒐集。其中，影像式車輛偵測器除可獲得速度、流量、佔有率等相關資料外，亦可提供交通管理單位進行即時交通狀況之監控。

3. 影像式事件自動偵測系統

影像式事件自動偵測系統目前於國內已有廣泛之應用，成效亦相當

良好，例如於八卦山隧道火燒車事件中，系統於 10 秒內即偵知事件發生，該相關管理單位才得以快速反應進行相關救援與疏導措施。由此可見影像式事件偵測系統之效益與其發展之成熟性。因此，為確保開放路肩之安全性，影像式事件自動偵測系統之選用與佈設為一關鍵考量。

4. 資訊發佈顯示設備

資訊發佈顯示為用路人獲得路肩開放資訊與否之重要設備，尤其動態開放路肩為非固定時段開放路肩之措施，因此，可變資訊標誌(CMS)或車道管制標誌(LCS)即成為資訊傳達之重要設備。其中，為告知用路人路肩開放資訊，顯示設備之位置即必須設置於開放路段前之適當區位。

5. 相關安全導引設施

法國 A4/A86 瓶頸路段施行智慧型路肩系統中，包含一可移動式安全柵欄，可透過此設備區隔並引導用路人使用路肩之行為；另亦可於實施智慧型路肩策略之路段佈設彩色鋪面，可使開放路段與車道之辨識度更高且更安全。

五、結論與建議

國內外政府機關或是學術單位等交通相關機構皆希望透過有效且對環境衝擊最小之方式來解決交通壅塞此一看似無解之交通問題。本文案例中所介紹之智慧型路肩系統為一解決人口眾多與路網密集區域壅塞問題之創新方案。此方案主要效益可以低成本低環境衝擊方式，增加道路容量、減少平均旅行時間，並能有效減少因交通壅塞所造成之環境汙染與能源消耗。台灣地區實施固定時段開放路肩多年，若學習國外成功案例之作法，再依據台灣本土環境設計適合台灣本土之智慧型路肩系統將可有效解決交通瓶頸問題，實為用路人之一大福音。

本文根據國內現況，提出以下智慧型路肩系統應用於高速公路瓶頸路段之建議，期可提供予交通管理單位之參考。建議如下：

- (一) 可於目前開放路肩路段之易肇事路段先行試辦智慧型路肩系統。
- (二) 以相關交通參數進行分析，以求得各路肩區段適宜之開放門檻值。
- (三) 可利用影像式車輛偵測器作為獲得速度、流量、佔有率等交通參數之選擇，並可協助交通管理單位進行即時交通狀況之監控。
- (四) 為確路肩開放前、中、後之交通安全，影像式事件自動偵測系統之配合採用實有必要。
- (五) 為告知用路人路肩開放資訊，顯示設備必須設置於開放路段前之適當區位。
- (六) 可增設相關安全導引設備，如可移動式柵欄，彩色鋪面以引導用路人駕駛行為，並提升識別度與安全性。

參考文獻

1. 交通部臺灣區國道高速公路局網站 <http://www.freeway.gov.tw/index.aspx>
2. PREFECTURE DE LA REGION D'ILE-DE-France. Traffic statistics <http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/ensavoirplus/stats/2001/Page1.php3#volumes>
3. Managed Lanes: A French project to reduce congestion on motorways, Christophe Desnouailles, Ministry of Transport / SETRA (christophe.desnouailles@equipement.gouv.fr), and Simon Cohen, Ministry of Transport / INRETS (Simon.cohen@inrets.fr)
4. La gestion dynamique des voies: un outils efficace d' exploitation des autoroutes. Revue Generale des Routes, n 842, Septembre 2005. Simon Cohen, Ministry of Transport / INRETS (Simon.cohen@inrets.fr)