插電式複合動力車(PHEV)歐盟油耗測試介紹

Introduction on European Fuel Consumption Testing for Plug-in Hybrid Electric Vehicle

曾文丁
工研院機械所
車輛環保能源組
環保與能源部
經理

張家豪
工研院機械所
車輛環保能源組
環保與能源部

關鍵詞(Keywords)

- 插電式複合動力車 PHEV, plug-in HEV
- 行車型態 driving cycle
- 測試程序 testing procedure

摘要(Abstract)

各國政府為提供消費者更接近實際狀況的插電式複合動力車油耗認證結果，於測試程序中針對影響油耗結果的各項動力輸出狀況，研究制定合適的標準檢測條件。由於插電式複合動力車油耗法規認證時，有較傳統汽柴油引擎車輛更為複雜的測試規範，故本文對於廣泛被國際間所關注的插電式複合動力車，於執行歐盟油耗測試程序時，各項與傳統汽柴油引擎車輛測試差異之處進行詳細的介紹。

To provide consumers with more realistic fuel economy testing data, most governments of the world have granted funding for research on setting appropriate testing conditions for plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) test procedures to eliminate influences that could cause inconsistent results. Since test procedures for the purpose of PHEV fuel economy certification are more complex than conventional vehicle testing, this article introduces the test differences between PHEV and conventional vehicle equipped with gasoline or diesel engine when performing the European Union fuel consumption testing procedures.

1. 前言

車輛承載旅客與貨物，帶給人們豐富與便利的生活，但也衍生出如空氣污染、交通事故以及能源消耗等問題。隨著環保意識的抬頭以及可能的原油供應短缺所造成油價上漲因素，消費者日漸重視車輛節能減碳相關議題，進而也促使各國政府及主要車輛製造廠投入研發更環保、高效率的行動載具。純電動車(BEV, battery electric vehicle)由於在車輛行駛過程不會排放空氣污染物，且馬達的能源使用效率遠高於傳統汽柴油引擎，爲世界主要車輛生產國努力推動的綠色運具。但純電動車輛每次充滿電可行駛的距離遠低於傳統引擎車輛，另純電動車充電設施的普及率與每次充電時較長時間的等待，均造成目前純電動車無法爲多數消費者所接受使用的原因。

現階段歐美日主要車廠都已推出多款結合傳統引擎搭配馬達與電瓶的複合動力車(HEV, hybrid electric vehicle)，屬於技術相對成熟產品，市場上已累積一定銷售量，而可於車上直接充電的複合動力車(PHEV, plug-in HEV，一般稱插電式複合動力車)是近年來在傳統的複合動力車基礎上衍生的特殊形式，其車輛系統的功能結構介於複合動力車(HEV)和純電動汽車(BEV)之間，兼備內燃機和可充放的電力儲能裝置(以車用動力蓄電池爲例)，同時還與純電動汽車一樣，直接連接到充電系統提供電池充電。傳統複合動力車驅動能量的最終來源實際上還是只有內燃機，除了制動(braking)能量回收之外，電池動力驅動車輛所提供的能量，最終都來自於內燃機的動力輸出。插電式複合動力車配備比傳統複合動力汽車更大容量的電池組，具備相當的純電動行駛能力，日常使用汽車時大多處於純電動或電量消耗的混合動力運行模式，實現了電量消耗最大化、燃油消耗最小化的目的，是車輛產業全面電動化前，重要的銜接產品，在純電動車尚無法普及的年代，插電式複合動力車銷售數量大幅成長的趨勢將是可預期的。

鑒於此，如何提供消費者插電式複合動力車輛燃料消耗的基本資料爲國際間新興議題，目前歐、美等國家針對插電式複合動力車已訂定明確的檢測方法及流程，由於插電式複合動力車的性能會因車上電池的容量而有差異，故歐盟及美國均已針對這類型車輛設計特性，研擬並規範新的測試程序與計算公式，特別是在電量的監控與判定部分。

國內過去車輛油耗測試雖是承認歐盟及美國測試程序的雙軌制，但在下一階段(暫定 2016 年起)車輛耗能管理上，已規劃回歸單一歐盟測試的管理機制，故本文將針對歐盟 UN/ECE R101 有關 PHEV 車輛之測試技術進行深入的介紹[1]。

2. 插電式複合動力車輛介紹

插電式複合動力汽車是一種混合動力車輛，其充電電池可以使用外部電源充電，一般電池容量比純電動車小，但較普通油電複合動力車來得大。

插電式複合動力車輛設計概念主要是針對環保意識較高的通勤族，提供車主具純電動車行駛期間無廢氣排放的長處，又兼具傳統汽柴油車行

駛里程較長的優點。一般通勤族若每次通勤距離在二十公里內，插電式複合動力車輛的電池續航力設計能達到單趟在二十公里以上即可以滿足多數通勤族需求(通勤時不需啓動內燃機引擎)。在長途駕駛(大多爲假日出遊或因公出差)的情況下，當插電式複合動力車輛電池電量消耗殆盡前，插電式複合動力車輛會自動啓動內燃機引擎提供動力及能量，其方便性與傳統汽柴油車輛相近；另引擎運轉模式則可以更接近最高效率的定轉速運轉，因此省油性較傳統汽柴油引擎更佳；有些車輛使用小型引擎、且不使用複雜的傳動系統，從設計觀點可抵銷使用較大電池所增加的重量跟成本。

一般純電動車整體污染排放較傳統汽柴油引擎車輛來得低，主要原因是把污染轉移至電廠，電廠可以採用大型污染防治設備，因此整體污染排放更低，就算使用燃煤發電等較不環保的發電方式，純電動車整體污染排放評估仍比汽柴油車行駛於道路上所排放的廢氣來得環保，而且電廠主要位於郊區，相較汽柴油車直接排放廢氣於都市居民生活周遭，對於民眾健康的危害相對較少。至於在能源效率方面，大型發電廠的能源使用效率遠比汽柴油引擎車輛能源使用效率來得高，且電動車輛又多在離峰時間充電，就算考慮電力傳輸儲存的損失，電動車的整體能源使用效率仍高於汽柴油車。

插電式複合動力車輛動力組合方式主要有以下兩種形式：

- 串聯式(series，或稱爲延距式)：車輪的動力來源全部由電動馬達提供，汽柴油引擎僅做爲發電使用，一般正常狀況，串聯式 PHEV 會以純電動模式行駛直到車上電瓶需要充電時，才會啓動車上配置的汽柴油引擎，開始對車上電瓶充電。
- 並聯式(parallel，或稱爲混合式)：車上的電動馬達與汽柴油引擎均可對車輪提供動力輸出，因此會有較複雜的傳動系統機構設計，純電動模式行駛狀態通常發生在車輛較低運轉速度時。

目前於美國政府油耗網站(www.fueleconomy.gov)所公布的 PHEV 車型共計六款如圖 1 所示，包括 TOYOTA 車廠；HONDA 車廠；FORD 車廠；CHEVROLET 車廠及 FISKER 車廠均有不同形式的 PHEV 車輛提供消費者選擇。歐洲地區則有 VOLVO 車廠的 V60 PHEV 車款、TOYOTA Prius PHEV 車款、PORSCHE Panamera PHEV 車款及 BMW i3 Range Extender 車款上市銷售。日本當地則有 TOYOTA Prius PHEV 車款及 MITSUBISHI Outlander PHEV 車款發表。

3. 傳統汽柴油引擎車輛歐盟油耗測試程序說明

傳統汽柴油引擎車輛進行法規油耗測試時，爲排除外界天候及路況的影響，均在控制溫度及溼度的實驗室中(如圖 2)，由專業人員於車體動力計上依規定行車型態行駛測得。且測試過程中，車燈、車上空調系統及音響等可能影響耗能測試結果之附屬設備皆不啓動，以客觀呈現各車型油耗測試值[2]。

圖 1

美國銷售之

PHEV 車型相關

資訊

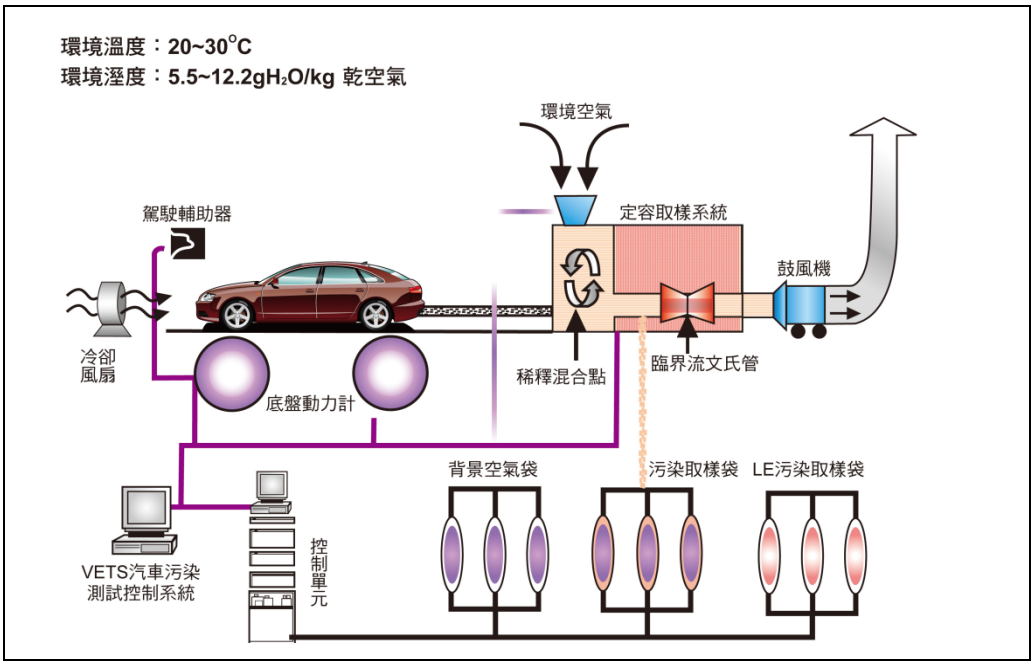

圖 2

車輛油耗污染測

試實驗室相關設

備示意圖

執行行車型態法規測試時所需的主要測試設備有[3]：車體底盤動力計(Chassis Dynamometer)、廢氣取樣及分析系統(CFV-CVS)、駕駛者輔助器及環境溫濕度控制系統等，測試設備主要功能說明如下：

3.1 汽車車體底盤動力計(含冷卻風扇)：

車體動力計其主要功能爲提供負載模擬實際道路行駛阻力，同時可以使車輛與定容取樣系統(CVS)、廢氣分析儀、速度量測裝置及距離量測裝置相互聯結。

動力計模擬行車阻力時，依據量測車重再加上固定載重(100 kg)，利用查表方式找出測試車輛之模擬慣性重量等級與係數值，廠商也可以將測試車輛於標準試車道上進行實車滑行測試，取得該車輛的滑行阻力係數值。爲確保車體動力計所提供的模擬阻力與實車於道路上行駛時的風阻與路阻相當，歐盟行車型態測試規範其動力計滑行路阻各速度區間必須符合以下的範圍以內才能進行法規油耗測試：於速度 120、100、80、60、40 km/h 時，誤差量不得超過± 5 %，速度 20 km/h 時誤差量不得超過± 10 %。

測試車在動力計上做預備駕駛及測試時，需有一輔助風扇作用在車輛冷卻系統(水冷式)或進氣口(氣冷式)，以使試驗車輛引擎(冷卻水、機油)溫度與道路行駛中的狀況相當。執行 NEDC (New European Driving Cycle)行車型態時需搭配使用同步風扇，其要求正常風量面積至少爲 0.2 m^2 或者也可以選擇至少 6 m/s (21.6 km/h)的送風機速度。

3.2 定容取樣系統及廢氣分析儀

於執行各類行車型態測試時，利用定容取樣系統(CVS)在控制環境下量測排氣和稀釋空氣混合後氣體之總體積，以連續定比例取樣然後藉由廢氣分析儀進行分析，其排放的污染物總量是從收集樣本濃度加稀釋空氣濃度所量測出來的。

一氧化碳(CO)與二氧化碳(CO_2)分析儀一般爲非分散式紅外線(NDIR)吸收型式儀器，而碳氫化合物分析儀必須是火焰游離分析(FID)型式儀器，而氮氧化物分析儀必須是化學發光(CLD)或是非分散式紫外線共振吸收(NDUVR)型式，兩種都必須配備 NOx-NO 轉換器。

3.3 駕駛者輔助器

提供測試期間之行車數據(行車型態之行車速度、距離相對時間、行車誤差次數及累積速度誤差值)及顯示型態路徑(標示換檔時機及提供參數及行車型態圖型之登錄、修改功能)，駕駛輔助器並附有輔助控制器供駕駛者做簡易之操控。

歐盟目前油耗測試所採用的行車型態爲新歐洲(NEDC)行車型態，包含四個 UDC(市區型態，每個測試時間爲 195 秒，行駛距離約 1 公里)行車型態及一個 EUDC(非市區或稱爲高速型態，測試時間爲 400 秒，行駛距離約 7 公里)行車型態，如圖 3 所示，總共 1180 秒，全長約 11 公里，最高車速達 120 公里/小時，平均車速約爲 32.5 公里/小時。其測試流程如圖 4 所示。

歐盟測試方法的油耗單位爲車輛每行駛一百公里所需要使用的燃油量，單位：L/100 km，我國目前所使用的油耗管理單位則爲：km/L，計算方式主要是將市區行車型態與非市區行車型態所量測到車輛排放之主要二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)與碳氫化合物(HC)等污染物，代入如下的經

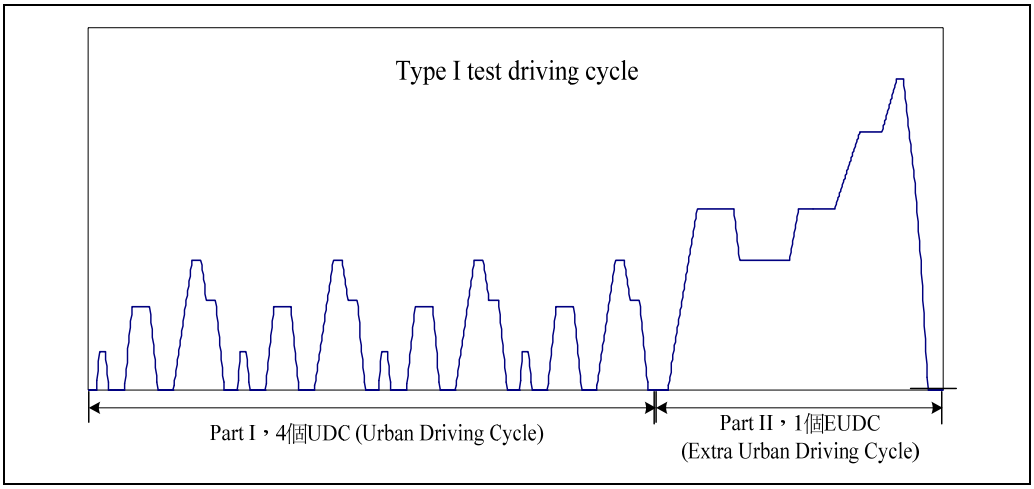

圖 3
新歐洲 NEDC
行車型態

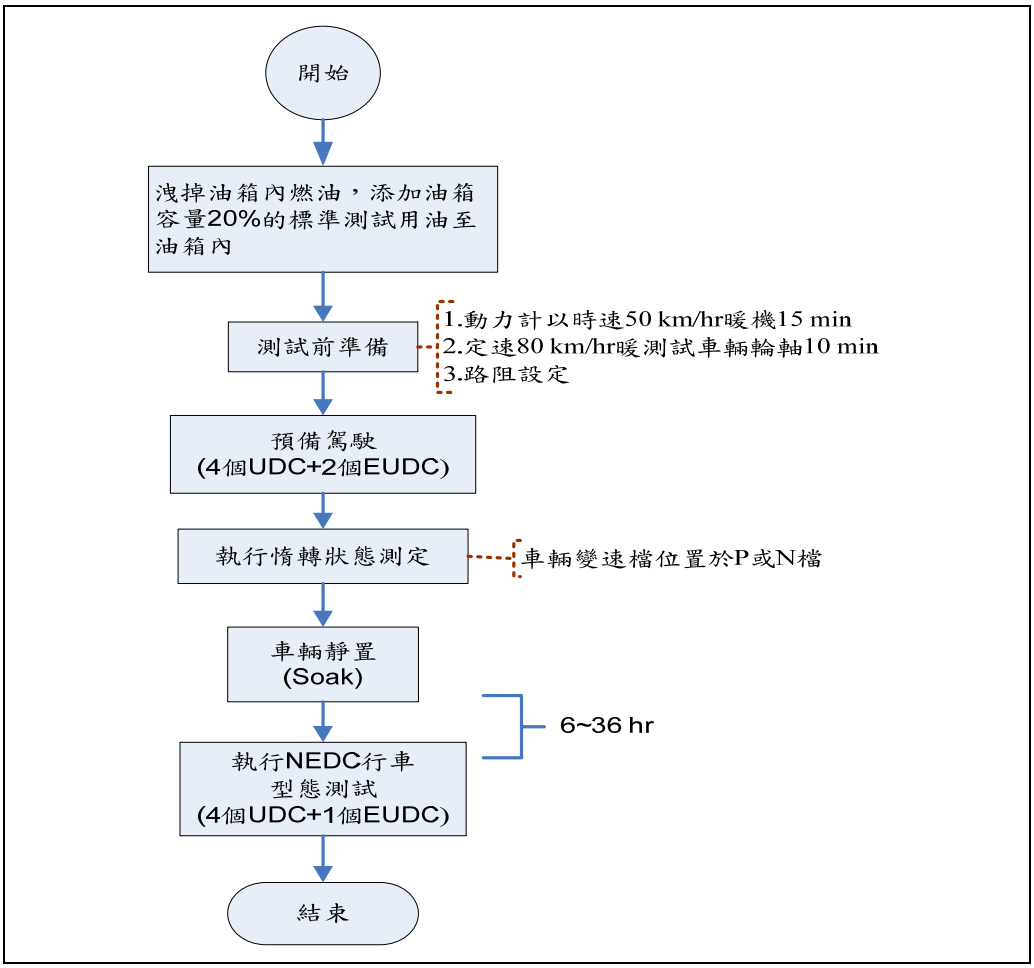

圖 4
NEDC 市區與高
速行車型態測試
流程圖

驗公式中求得汽油引擎車輛的油耗結果(係以碳平衡法的方式來推算)：

FC(gasoline, 單位爲 $L/100km$)=

$$\frac{0.1154}{D}\times[(0.866\times HC)+(0.429\times CO)+(0.273\times CO_2)]$$

其中 FC 爲百公里燃油消耗值，此處單位爲 L/100 km；D 爲測試用油之密度，爲燃油溫度於 15 ℃之密度；HC、CO 及 CO_2 單位爲 g/km。

4. 插電式複合動力車輛歐盟油耗測試重點解析

歐盟針對複合動力車檢測方式的規範，主要是依循 ECE R83 Annex 14 及 ECE R101 Annex 8，其中 ECE R83 Annex 14 是針對污染物的管制，而 ECE R101 Annex 8 則是針對二氧化碳排放、燃油消耗與電能消耗的管制，雖然管制項目不同，但其測試的流程大致相同；在測試分類部分，依能否車外充電及有無行駛模式切換開關，共分成四種測試類別，如表 1 所示。其中不可車外充電歐盟將其定義爲 NOVC，可車外充電歐盟將其定義爲 OVC，與常見如美國所定義爲 HEV 及 PHEV 的方法而有所不同，爲避免混淆，故將稱不可車外充電車輛爲 HEV，可車外充電車輛爲 PHEV[4]。

目前市面上銷售的 PHEV 車輛多爲不具備行駛模式切換開關車型，故本文僅針對此類型車輛測試方式進行介紹。

PHEV 車輛測試方式與傳統汽柴油引擎車輛測試方式最大的差異爲：PHEV 車輛須分別針對車上電瓶在最大電量(condition A)及最小電量

表 1　歐盟複合動力車測試分類

車輛充電	可車外充電(OVC) (Off-Vehicle Charge)		不可車外充電(NOVC) (Not Off-Vehicle Charge)	
行駛模式切換開關	不具備	具備	不具備	具備

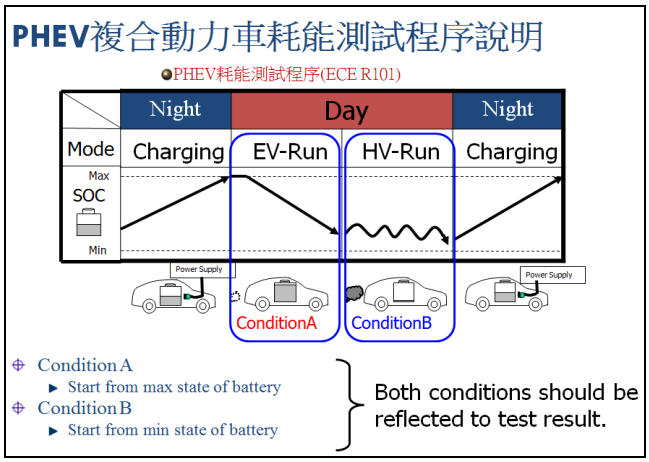

圖 5　PHEV 油耗測試執行過程示意圖

資料來源：「插電式複合動力車(PHEV)油耗污染測試技術研討會」講義，TOYOTA 公司提供

(condition B)依 NEDC 行車型態對測試車進行電量監測與污染與油耗量測如圖 5 PHEV 油耗測試執行過程示意圖[5]。

可車外充電及不具備行駛模式切換開關。其測試流程如圖 6 所示。測試步驟綜合 A、B 兩模式說明如下：

4.1 放電

測試車輛於動力計上以行駛方式進行放電可依以下幾種方式自行選擇：(a)以 50 km/h 行駛直至引擎啓動；(b)若車速在到達 50 km/h 前車上引擎即會啓動，則將速度降至引擎不啓動之穩定速度；(c)依車廠之建議。

4.2 預備駕駛

- 壓縮點火引擎：連續 3 次 EUDC 行車型態。
- 火花點火引擎:1 次 UDC 行車型態＋2 次 EUDC 行車型態。

4.3 靜置(A 模式需充電)

- 靜置 6～30 小時。
- 靜置室溫控：20～30 ℃。
- 記錄開始時間。
- 靜置時若需充電則參照下列步驟 4.6 之規定。

4.4 車輛測試

依照傳統汽油車測試程序，以 NEDC 型態(New European Driving Cycle)進行測試；然而 A 模式測試時，則是只有執行 1*NEDC 或是 N*NEDC 兩種方式，由廠商自行決定。

所謂之 N*NEDC 測試，N 的判定爲持續經過好幾個(N 個)測試循環後，直到電力儲存裝置達到判斷標準所規定最小電量狀態時第一個額外市區型態(extra-urban cycle)之最後惰轉時結束。

4.5 測試結果記錄

行駛循環組合之測試結果(CO_2 及油耗)必須紀錄，分別以 M 及 C 表示，如果是依照前述執行 1*NEDC 測試，M 及 C 僅爲一個循環組合之結果；如果是依照前述執行 N*NEDC 測試，M 及 C 是 N 個循環組合之測試結果總合。

4.6 充電

- 在最後一個循環結束的 30 分鐘內需開始執行。
- 如果車上有充電設備則使用之。
- 依車廠之建議。
- 而最多充 12 小時即符合停止充電判定準則，完成充電時並記錄充電量 E。

4.7 電力行程

A、B 兩模式結束後，需以純電力模式，依 NEDC 型態進行電力行程，並記錄行駛距離 De or Dovc。

4.8 結果計算

模式 A 耗能測試下，其車輛測試程序有兩種方式可選擇，依其選擇方式計算其耗能與電量消耗

4.8.1 1*NEDC 程序之燃油消耗計算

$$C = (D_e \times C_1 + D_{av} \times C_2) \Big/ (D_e + D_{av})$$

其中：

C= 燃油消耗以 L/100 km 表示。

C1=在電能/電力儲存裝置完全充電(模式 A)狀態下之燃油消耗以 L/100 km 表示。

C2=在電能/電力儲存裝置最小電量(模式 B)（最大放電容量）狀態下之燃油消耗以 L/100 km 表示。

De=車輛電力行程，依照 ECE/R101 附件 9 規定程序，車廠須提供車輛完全以電力行駛執行測試之方法。

Dav=25 km (電瓶兩次再充電之間估計之平均里程)。

4.8.2 N*NEDC 程序之燃油消耗計算

$$C = (D_{ovc} \times C_1 + D_{av} \times C_2) \Big/ (D_{ovc} + D_{av})$$

其中：

C= 燃油消耗以 L/100 km 表示。

C1=電能/電力儲存裝置完全充電(模式 A)狀態下之燃油消耗以 L/100 km 表示。

C2=在電能/電力儲存裝置最小電量(模式 B)（最大放電容量）狀態下之燃油消耗以 L/100 km 表示。

Dovc=車外充電行程，依照 ECE/R101 附件 9 規定程序。

Dav= 25 km (電瓶兩次再充電之間估計之平均里程)。

4.8.3 1*NEDC 程序之電能消耗計算

$$E = (D_e \times E_1 + D_{av} \times E_4) \Big/ (D_e + D_{av})$$

其中：

E= 電能消耗 Wh/km。

E1=在電能/電力儲存裝置完全充電(模式 A)狀態下之電能消耗 Wh/km。

E4=在電能/電力儲存裝置最小電量(模式 B)（最大放電容量）狀態下之電能消耗 Wh/km。

De=車輛電力行程，依照 ECE/R101 附件 9 規定程序，車廠須提供車輛完全以電力行駛執行測試之方法。

Dav=25 km (電瓶兩次再充電之間估計之平均里程)。

4.8.4 N*NEDC 程序之電能消耗計算

$$E = (D_{ovc} \times E_1 + D_{av} \times E_4) \Big/ (D_{ovc} + D_{av})$$

其中：

E= 電能消耗 Wh/km。

E1=在電能/電力儲存裝置完全充電(模式 A)狀態下之電能消耗 Wh/km。

E4=在電能/電力儲存裝置最小電量(模式 B)（最大放電容量）狀態下之電能消耗 Wh/km。

Dovc=車外充電行程，依照 ECE/R101 附件 9 規定程序。

Dav= 25 km (電瓶兩次再充電之間估計之平均里程)。

5. 我國車輛檢驗室執行 PHEV 油耗測試能力說明

因 PHEV 之測試程序相較於 HEV 或傳統汽柴油車輛測試程序複雜許多，國內雖然在執行 HEV 油耗測試已有多年經驗，並也投入相當資源針對 PHEV 有關議題進行深入研究，但尚無具體實務驗證機會，爲降低因自我摸索而導致成效不彰，故 2013 年在經濟部能源局經費支持下，由工研院選派專家赴日本參訪在 PHEV 相關管制法規、檢測程序與測試設備上有完整發展經驗之 TOYOTA 公司與 HORIBA 公司，以利協助國內車輛檢測實驗室建立符合國際規範的 PHEV 油耗測試能力，

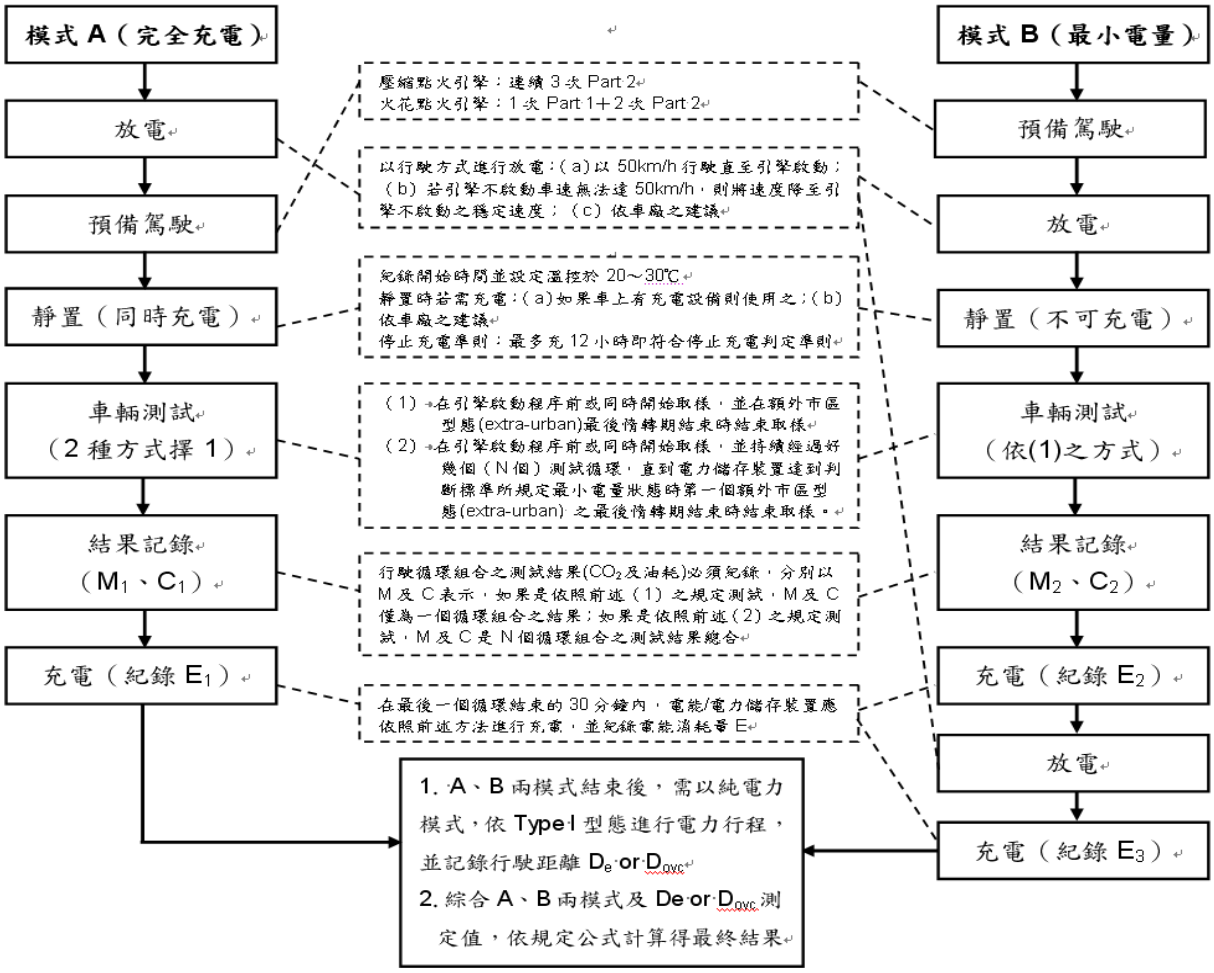

圖 6　歐盟可車外充電及不具備行駛模式切換開關之 PHEV 測試流程圖

如圖 7 為工研院同仁於日本 TOYOTA 公司進行 PHEV 技術交流之照片。

圖 7　於 TOYOTA 公司進行 PHEV 技術交流

工研院在完備 PHEV 相關檢測設備及累積數筆 PHEV 實測數據後，於 2013 年 10 月 30 日邀請日本 TOYOTA 執行 PHEV 認證的專家至工研院車輛檢驗室進行現場測試指導，並於 2013 年 10 月 31 日辦理「插電式複合動力車(PHEV)油耗污染測試技術研討會」如圖 8，與會人員包括國內主要車輛製造廠、進口車代理商、車輛檢驗室、國內研發單位等約 80 人參與，確認國內車輛檢驗室在設備建置及人員能力上均達國際水準，可正確執行 PHEV 油耗測試。

圖 8　工研院辦理之 PHEV 研討會

6. 結論

針對 PHEV 複合動力車之測試，除車上配置之汽柴油引擎於啓動燃燒所排放之廢氣需進行採樣分析外，車輛測試過程中電量變化亦需進行監控，一方面作爲判定停止測試之依據，另方面也須將最終電量之消耗納入計算。爲對應測試程序相關要求，各車廠 PHEV 電池模組在設計時，一般均會考量將測試過程中電流的充、放電變化控制在一定範圍內，以符合測試程序規範，檢測機構於測試過程中充分監控車輛電量變化並有效量測與紀錄，便極爲重要。

PHEV 測試在國內屬於起步階段，大部份廠商均不甚瞭解此一新型態測試的細節，特別是在電流量測與 SOC (state of charge)電量讀取的部分，如何精準掌握 PHEV 車輛電流充、放電狀態及監控數據便是重要課題，尤其是部分 PHEV 車輛需使用專用的電源連接線方能進行電量監控，或是電量量測接頭的連接需拆卸部分車上零件；另外，有關電量變化之 SOC 監控儀器，因需由 OBD 車上偵斷系統進入車輛的 ECU 讀取，廠商即需配合提供可監控 SOC 之必要儀器，因此，PHEV 在測試前，車輛送測廠商與車輛檢測機構做充分的溝通與準備有其必要性。

誌謝

感謝經濟部能源局「車輛能源效率管理與基準提升之研究計畫」相關經費的支持，使本文得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

[1] UN/ECE Regulation No. 101 “Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range,” 12 April 2013.

[2]「車輛能源效率管理與基準提升之研究計畫」，經濟部能源局委託，案號：102-E0413，工研院機械所，2013 年。

[3]「車輛二氧化碳排放管制計畫」，行政院環境保護署委託， EPA-101-FA13-03-A037，工研院機械所，2012 年。

[4]「複合動力車測試程序研究報告」，工研院機械所技資編號：53-3-A2-0508，2013 年 11 月。

[5]「插電式複合動力車(PHEV)油耗污染測試技術研討會」，工研院機械所，2013 年 10 月 31 日。

■