小客車能效於實際道路測試與法規實驗室測試結果之差異比較研析

王建凱[1]*、周奕達[2]、林樺[3]
[1]工業技術研究院 機械與機電系統研究所 助理工程師
[2]工業技術研究院 機械與機電系統研究所 副工程師
[3]工業技術研究院 機械與機電系統研究所 副研究員
*Email: itri530917@itri.org.tw

摘要

本研究主要參照歐盟車輛污染排放法規框架中實際道路駕駛排放量測(Real Driving Emission, RDE)之相關規範，進行我國實際道路測試之實驗設計與路線規劃，並以5輛樣本小客車搭載車載排放量測系統(Portable Emissions Measuring Systems, PEMS)進行實證，比較樣本車輛於實際道路駕駛排放量測所取得之能效數據與於車輛法規實驗室以WLTC及NEDC行車型態測試之能效測試值三者之差異。

實證結果顯示，同一車型於實際道路測試(RDE)之能效會比實驗室(NEDC或WLTC)測試之能效差，RDE與NEDC之差異範圍約為2.2%~11.8%，RDE與WLTC之差異範圍約為4.3%~8.9%，相較NEDC行車型態之能效測試結果，WLTC之能效測試結果與RDE較為接近，而同一車型於實驗室NEDC與WLTC之測試結果比較發現並無一致趨勢。

關鍵字：車輛能源效率、實際道路、RDE

1. 前言

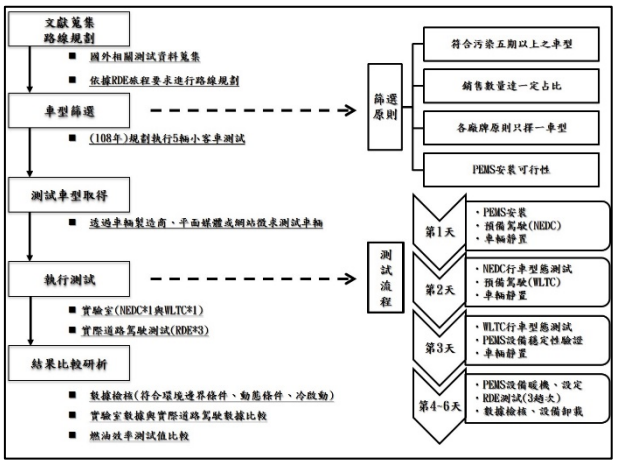
車輛於道路行駛實際之燃油消耗情況一直是消費者關注的議題，目前多數國家對現行車輛能源效率的管理，在耗能法規認證與車輛能效資訊揭露方面，為在公平性原則下，採用一致的法規實驗室檢測標準，考量受驗車輛的穩定性，實驗室內所呈現的封閉式環境參數與檢測程序皆有所規範，以求測試結果的客觀性。然而，在實驗室控制的環境條件與限制檢測程序的前提下，相對於車輛售後實際用於道路上所測得的表現，燃油效率與污染排放值會與實驗室認證值有些差距。

2014年9月起，在歐盟所販售的車型必須符合Euro 6期的污染排放標準，除了以實驗室內相關的測試程序進行車型認證外，並同步將實際道路排放量測(RDE, Real Driving Emissions)納入新車型檢測項目之一，以確保車輛在日後使用中時，也能維持良好耐久品質。依現行歐盟輕型車的實施期程，已於2017年9月(Euro 6d-TEMP)實施RDE-LDV的管制程序，分兩階段實施RDE-LDV的監控(monitoring)與管制，並於2019年9月起全面導入新車型在RDE的污染排放要求。

雖然現行Euro 6d於RDE-LDV之監控及管制僅針對車輛污染物進行，但RDE執行過程可同步獲得車輛能效相關數據，因此為了解車輛於實際道路行駛之能源效率與於實驗室測試數據之差異，可運用RDE架構下所得到之能效測試數據與實驗室測試數據進行比較以了解其差異程度。

2. 研究方法

本研究首先彙整國外關於實驗室與實際道路測試結果差異的文獻，了解國外相關趨勢，並蒐集歐盟執行實際道路排放測試之法規與作法，依循相關規範進行本次實證研究之規劃，以至少符合歐盟污染管制五期之5輛小客車，進行總計25輛次之實驗室(NEDC與WLTC)及實際道路排放測試(RDE)，並將相關數據進行比較研析，研究流程如下圖一。



圖一、研究流程

3. 國內外研究文獻

3.1 國外實驗室(WLTC或NEDC)與實際道路能效差異研究

參考過去相關研究，實驗室與實際道路駕駛之差異並非絕對，部分研究與測試結果指出，實驗室檢測認證結果較難反應實際路況的排放狀態，如J. May et al.(2014)[1]選用2車型(1汽油車、1柴油車)進行研究，以車載排放量測系統進行實際道路的污染物排放測試，並在實驗室以動力計執行NEDC(New European Driving Cycle)與WLTC(Worldwide harmonized Light vehicle Test Cycle)行車型態測試，所得之結果中，實際道路駕駛測試有較高的二氧化碳排放量與能

源消耗且與實驗室測試之結果差異顯著。

而在中國汽車工程研究院(2018)[2]之研究報告中，選用2輛輕型汽油車於實驗室與實際道路上進行油耗測試，其研究結果顯示，1車型實際道路測試值與實驗室NEDC差異為4.82%、WLTC差異為3.88%，另1車型實際道路駕駛測試值與實驗室NEDC差異為4.59%、WLTC差異為-3.69%，2車之實際道路駕駛與實驗室NEDC、WLTC行車型態測試之差異均在5%以內，且以WLTC行車型態測試之數據較接近實際道路駕駛測試。

另外，G. Triantafyllopoulos et al (2019)[3]以3輛(Hatchback、Sedan與Wagon車型)符合歐6標準之柴油小客車進行研究，其結果顯示WLTC之二氧化碳排放量比NEDC高約10%，但與RDE之結果相近；此研究更進一步將RDE之市區段與WLTC(Low)及NEDC(UDC)相比，RDE之郊區段與WLTC(High)相比，RDE高速段與WLTC(Extra-high)及NEDC(EUDC)相比，其結果顯示因為實際交通狀況、車輛風阻及調校設計之不同，RDE各階段數據與實驗室型態之各階段並無明顯一致之趨勢。

3.2 我國實驗室(WLTC或NEDC)與實際道路CO_2差異研究

我國環保署於2017年進行實驗室(WLTC或NEDC)與實際道路CO_2差異研究[4]，當年度共計執行7車型之測試(6輛M類汽油小客車與1輛N1 Class II類汽油小貨車)，於符合Regulation (EU) 2016/427規範條件下之測試結果，7輛車於實際道路測試之CO_2值均高於該車在實驗室(WLTC與NEDC)的排放值，實際道路與實驗室WLTC之差異約為17%，與NEDC之差異約為18%。

4.實際道路駕駛測試程序相關規範與選用設備說明

4.1 歐盟RDE測試規範

現行實際道路車輛污染排放量測測試程序，係以Regulation (EU) 2016/427[5]、(EU) 2016/646[6]、(EU) 2017/1154[7]與(EU) 2018/1832[8]為參考依據，並以車載排放量測系統(PEMS)為測試設備，前述RDE-LDV測試法規中，對於環境條件、車輛負載、動態條件、旅程等各項條件均有其規範要求，RDE測試並非任意選擇路線進行測試量測污染排放並做判定，而是須依循規定進行測試路線規劃並進行驗證，於測試後進行數據檢核包括環境溫度、駕駛行為及各項交通特性如停等比例、平均速度等，確認測試過程符合規範後再進行最終計算，相關規範要求整理如下表一。

表一：RDE測試環境與旅程規範

項目			規範條件	
測試環境	溫度	一般	環境溫度0~30℃	
		擴充	環境溫度-7~0℃或30~35℃	
	高度	一般	海拔高度≦700 m	
		擴充	海拔高度700~1300m	
旅程要求	市區		車速<60km/h； 行駛距離至少16km、里程占比29~44%	額外條件： 平均車速應介於15~40km/h 停等時間應占市區時間的6~30% 單次停等時間不得超過300秒
	郊區		車速60~90km/h； 行駛距離至少16km、里程占比33±10%	
	高速		車速>90km/h； 行駛距離至少16km、里程占比33±10%	額外條件： 車速最高不超過145km/h >100km/h應至少5分鐘
	測試總時間		90~120min	
	起訖點高度差		<100m	
	旅程累積爬升高度		< 1200m/100km	
動態條件	V*Apos[95]		平均速度≦74.6km/h，V*Apos[95]≦(0.136*平均速度+14.44)	
			平均速度>74.6km/h，V*Apos[95]≦(0.0742*平均速度+18.966)	
	RPA		平均速度≦94.05km/h，RPA>(-0.0016*平均速度+0.1755)	
			平均速度>94.05km/h，RPA>0.025	
其他	冷啟動要求		冷啟動定義為引擎發動後5分鐘內，引擎水溫≦70℃期間 引擎發動後，不得怠速超過15秒 冷啟動期間最大車速不得超過60km/h，平均車速應介於15~40km/h 冷啟動期間怠速停等時間不得超過90秒	
	操作要求		PEMS電力來源應使用外部供電，不可使用引擎提供之電力 測試車輛的燃油、潤滑油以及添加劑應以車廠對消費者建議的油品規格為主 空調系統或其他輔助裝置應依消費者於實際道路駕駛時可能使用狀況設定之	

4.2 選用設備與設備驗證

本研究使用之車載排放量測系統(PEMS)為HORIBA OBS-ONE，此套設備不僅用以分析車輛於實際道路行駛時所排放的污染物外，更可同步紀錄排氣流率、車輛位置、環境狀況(溫度、濕度及大氣壓力)與收集可用的車輛資訊，並藉此計算出排放量與車輛燃油消耗量，表二為 HORIBA OBS-ONE的基本概要說明。

表二：車載污染量測系統OBS-ONE簡介

設備應用		LDV、HDV	
設備標準	歐盟Euro6-Commission Regulation (EU) No 582/2011		
	美國聯邦US EPA CFR 1065－J		
測試紀錄參數	PEMS GA 氣狀污染物	CO、CO_2、NOx、THC	
	PEMS PN 粒狀污染物	PN	
	EIU 外部訊號	排氣流率、溫度、壓力(皮托管流量計)	
		環境溫度	範圍:-40~60℃；精度:±0.5℃(at 23℃)
		環境溼度	範圍:0~100%(相對溼度)；精度:±1.5%(at 23℃)
		大氣壓力	範圍:0~115kPa；精度:±2%
		GPS訊號(受測車輛位置之經緯度、高度、移動速度)	
	OBD I/F 車載訊號	引擎轉速、車輛速度、節氣門開度、油水溫(視各車輛釋放之訊號)	
可安裝位置		車輛後廂、托板車、座椅	
操作環境限制		-環境溫度：-10℃~40℃ -環境濕度：相對溼度80%以下 -高度：海拔高度2000公尺以下	

資料來源：HORIBA(2018)

依RDE法規規定，於RDE測試前須先進行PEMS設備穩定性驗證，驗證測試應在車體動力計上執行，驗證結果應滿足表三所列的要求，方可執行測試。

表三：PEMS設備驗證容許公差

參數[單位]	容許公差 (取數值較大者)
距離[km]	以實驗室為參考值的±250m
THC[mg/km]	±15mg/km或以實驗室為參考值的15%
CO [mg/km]	±150mg/km或以實驗室為參考值的15%
CO_2[g/km]	±10g/km或以實驗室為參考值的10%
NOx[mg/km]	±15mg/km或以實驗室為參考值的15%
PN(#/km)	$1*10^{11}$ #/km或以實驗室為參考值的50%

5.測試規劃與結果實證

5.1 測試路線規劃與條件設定

本研究測試規劃主要依循前述歐盟實際道路污染排放測試指令以及歐盟研究機構JRC公布之輕型車RDE測試指導書[9]進行測試路線及相關執行條件之訂定。本研究設計之測試路線涵蓋新竹縣/市與苗栗縣(如圖二)，其組成以新竹縣/市之縣道或省道、台61號西濱快速道路及國道3號高速公路為主，規劃路線之實際速限及行駛路線安排彙整如表四；以Google地圖進行路線預估，全程之里程為86.1公里，行駛時間約為100分鐘。

圖二：測試路線示意圖

表四：RDE測試路線安排

路段型態	行駛路線	速限
市區	第1段(約22公里)： 工研院東大門→竹縣中興路四段(122縣道)→竹市光復路(122縣道)→東大路高架道路→東大路(122縣道)→天府路一段→左轉西濱路一段(台15線) 第2段(約6.0公里)： 竹縣富林路三段(120縣道)→右轉文明路(新中正橋)→右轉光明路→右轉明星一路→右轉中興路四段(122縣道)→工研院東大門	道路速限為60km/h
郊區	西部濱海快速公路(台61線)77-大庄交流道→101-外埔交流道→迴轉西部濱海快速公路(台61線)101-外埔交流道→93-竹南交流道	道路速限為80km/h
高速	福爾摩沙高速公路(國道3號)119k-竹南交流道→90k-芎林交流道	道路速限為110km/h

此外測試環境條件、車輛負載、動態條件等各項條件皆符合歐盟相關規範，針對未明確之規定，本研究參考輕型車RDE測試指導書[9]，將測試執行過程中應注意之事項加以規範，以確保測試過程一致性。針對測試過程中車輛各種裝置之設定及測試駕駛之開車行為或操作彙整如表五。

表五：測試前條件、裝置設定與開車行為規範彙整

車輛預備駕駛	完成PEMS設備安裝後，於一般道路上行駛20~30分鐘，以確認設備與車輛狀態。	
測試前靜置	在一般或擴充的環境條件下靜置6~56小時	
測試執行時間	平常上班日(星期一~星期五) 8:00~18:00	
車輛裝置設定	冷氣狀態	溫度設定：23-25℃ 風量設定：中等風量
	怠速熄火裝置	開啟，不需關閉
	電子安全輔助裝置	在安全狀態下視實際狀況開啟使用
	車輛行駛模式	於標準(standard)或正常(normal)模式進行測試，不須特意切換為環保(eco)、運動(sport)或越野(off-road)等模式
測試駕駛規範	(1)行駛過程中遵守交通安全法規及道路速限等規範。(2)依道路實際車流交通狀況行駛，無安全疑慮下避免特殊駕駛行為，如不斷踩放油門、特意提高轉速或特意放慢車速等。(3)測試期間PEMS設備應持續進行污染物分析取樣至測試結束，不可無故中斷。	

5.2 測試車型選用

本研究以經濟部能源局公開之107年度車輛油耗指南小客車車型資料，依排氣量範圍進行車型數統計，為求測試具代表性，篩選各排氣量等級銷售量較多之車型進行租借，選出之車型(如表六)於WLTP車型分類屬Class 3b等級，並屬於對應歐盟污染五期之車輛。

表六：本研究測試車型基本資料

車輛代號	排檔型式	排氣量(c.c.)	空重(kg)	傳動方式	Power Max (kw)	Idle stop	Turbo	供油方式
A	A6	1998	1562	F	115	無	無	直噴
B	A7	1591	1713	F	150	無	有	直噴
C	CVT	2498	1934	4	129	有	無	間噴
D	CVT	1798	1677	F	103	無	無	間噴
E	A6	2191	1894	F	140	有	有	直噴

參數設定的部分如表七，其中路阻設定於實驗室皆採原廠滑行阻力設定，RDE則依實際路況；測試燃料為使測試結果能盡量在同一基準上做比較，因此皆使用E5為本研究測試用油。

表七：主要測試條件設定

測試程序 / 項目	NEDC	WLTP	RDE
行車型態	NEDC	WLTC	依實際路況
阻力	原廠滑行阻力	原廠滑行阻力 -經公式修正	依實際路況
使用油品	E5		
量測內容	CO_2、CO、THC、NO_X、PN、PM		
能效計算	測量CO_2、CO及THC排放量並根據碳平行法反推		

5.3 測試結果比較

本研究之實際道路駕駛測試(RDE)，駕駛人於正常開車行為與用車情境下，遵守相關道路規範，並依實際車流路況之方式行駛符合歐盟RDE法規條件之設計路線；於實驗室測試則遵守NEDC與WLTP之規範進行；且實際道路駕駛(RDE)與實驗室(NEDC或WLTC)能效測試均在負載PEMS設備重量(約200公斤)之條件下執行。

以選用車型進行實驗室NEDC與WLTC行車型態測試，於實驗室進行WLTC測試時動力計模擬之慣性重量計算方式，需考量車輛總重、旋轉質量與驅動方式等，與NEDC之計算方式不同(表八)，此外均需額外負載PEMS設備重量(約200公斤)，觀察其能效測試值結果(表九)，5筆樣本之$\frac{FE_{WLTC}}{FE_{NEDC}}$範圍為0.97-1.04，平均值為1.00(標準差=0.02)，兩者型態之比值並無絕對趨勢。

每樣本車輛均執行3次符合歐盟實際道路排放測試規範之測試，取3次RDE能效測試數據之平均值與實驗室之測試結果進行比較(表十)，以避免特殊交通路況之數據影響比較結果。結果顯示同一車輛執行RDE測試所取得之能效數值，與執行實驗室能效測試取得之能效測試值相比，車輛於實際道路之能效值相較實驗室能效數據為差，差異約從2.0 %~12.0%不等；以不同行車型態來看(圖三)，NEDC與RDE之差異為2.2%至11.8%，而WLTC與RDE之差異為4.3%至8.9%，兩者相比，車輛於實際道路駕駛之能效與WLTC之測試結果較為近似，此結果與國外研究趨勢較為一致。

表八：樣本車輛於實驗室測試之重量數據表

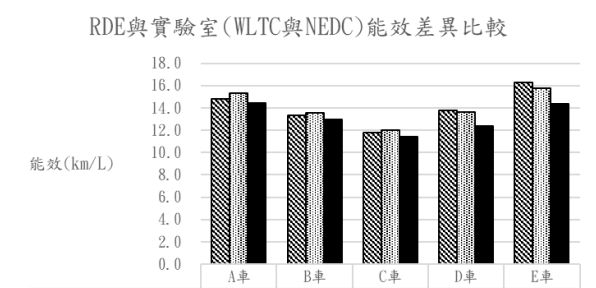
車輛代號	測試型態	總重(kg)	空車重(kg)	NEDC參考車重(kg) / WLTC測試重量(kg)	慣性重量(kg)
A車	NEDC	1729	1562	1662	1700
	WLTC			1697	1697
B車	NEDC	1900	1713	1813	1810
	WLTC			1853	1853
C車	NEDC	2100	1934	2034	2040
	WLTC			2044	2044
D車	NEDC	1880	1677	1777	1810
	WLTC			1819	1819
E車	NEDC	2174	1894	1994	2040
	WLTC			2051	2051

表九：實驗室(NEDC與WLTC)能效測試數據

車輛代號	測試型態	能效(km/l) NEDC-Urban WLTC-Low	NEDC-Urban WLTC-Medium	NEDC-Extra Urban WLTC-High	NEDC-Extra Urban WLTC-Extra High	平均	WLTC與NEDC差異(%)
A車	NEDC	11.03		18.44		14.78	3.7
	WLTC	10.51	15.88	18.05	15.66	15.32	
B車	NEDC	10.05		16.41		13.32	1.7
	WLTC	9.60	13.95	16.04	13.59	13.54	
C車	NEDC	8.79		14.78		11.81	1.6
	WLTC	8.13	12.55	14.47	12.07	12.00	
D車	NEDC	10.55		16.83		13.80	-1.4
	WLTC	9.43	15.26	16.83	12.78	13.6	
E車	NEDC	12.86		19.33		16.31	-3.3
	WLTC	11.45	14.86	18.56	16.53	15.77	

表十：實際道路駕駛(RDE)測試數據

車輛代號	測試型態	能效(km/l) 市區	市區平均	郊區	郊區平均	高速	高速平均	全程平均	3次全程平均
A車	RDE1	12	11.3	17.6	17.9	17.1	16.5	15.0	14.5
	RDE2	11.2		18.0		15.7		14.2	
	RDE3	10.6		18.0		16.6		14.2	
B車	RDE1	10.5	9.9	15.9	15.7	15.4	15.7	13.3	13.0
	RDE2	9.6		15.8		15.6		12.8	
	RDE3	9.5		15.5		16.0		12.8	
C車	RDE1	9.3	9.1	15.1	14.7	12.1	12.0	11.6	11.4
	RDE2	9.3		15		12.8		11.8	
	RDE3	8.6		14		11.2		10.7	
D車	RDE1	9.6	9.5	15.8	15.9	14	13.4	12.4	12.4
	RDE2	9.8		16.1		14		12.6	
	RDE3	9.1		15.7		12.1		12.1	
E車	RDE1	11	11.2	18.5	18.3	16.3	15.7	14.4	14.4
	RDE2	11.5		17.5		15.9		14.4	
	RDE3	11.2		19		14.8		14.3	



	A車	B車	C車	D車	E車
NEDC能效(km/l)	14.8	13.3	11.8	13.8	16.3
WLTC能效(km/l)	15.3	13.5	12.0	13.6	15.8
3次RDE平均能效(km/l)	14.5	13.0	11.4	12.4	14.4

圖三、RDE與實驗室測試能效差異

6. 結論

本研究參照歐盟車輛污染排放法規框架中實際道路駕駛排放量測(Real Driving Emission, RDE)之相關規範，進行我國實際道路測試之實驗設計與路線規劃，測試路線涵蓋新竹縣/市與苗栗縣，其組成以新竹縣/市之縣道或省道、台61號西濱快速道路及國道3號高速公路為主，經檢核驗證符合歐盟RDE法規規範之條件。

本研究以5輛樣本小客車搭載車載排放量測系統(Portable Emissions Measuring Systems, PEMS)進行實證，比較樣本車輛於實際道路駕駛排放量測所取得之能效數據與於車輛法規實驗室以WLTC及NEDC行車型態測試之能效測試值三者之差異。實際道路駕駛測試(RDE)時駕駛人於正常開車行為與用車情境下，遵守相關道路規範，並依實際車流路況之方式行駛符合歐盟RDE法規條件之設計路線；於實驗室測試則遵守NEDC與WLTP之規範進行；且實際道路駕駛(RDE)與實驗室(NEDC或WLTC)能效測試均在負載PEMS設備重量(約200公斤)之條件下執行。

實證結果顯示，同一車型於實際道路測試(RDE)之能效會比實驗室(NEDC或WLTC)測試之能效差，RDE與NEDC之差異範圍約為2.2%~11.8%，RDE與WLTC之差異範圍約為4.3%~8.9%，相較NEDC行車型態之能效測試結果，WLTC之能效測試結果與RDE較為接近，此結果與國外研究趨勢較為一致，此外同一車型於實驗室NEDC與WLTC之能效測試結果比較發現並無絕對趨勢。

7. 誌謝

本論文為經濟部能源局「車輛能源效率管理策略執行與基準再提升之研究計畫」，計畫編號108-E0416，由於經濟部能源局的支持，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

8. 參考文獻

1. May, J., Bosteels, D., and Favre, C., "An Assessment of Emissions from Light-Duty Vehicles using PEMS and Chassis Dynamometer Testing", SAE Int. J. Engines 7(3): 2014, doi:10.4271/2014-01-1581.
2. 冉林堯,杜寶程, "輕型汽油車實際道路行駛工況與實驗室工況油耗對比分析" (2018).
3. G. Triantafyllopoulos et al., "A study on the CO2 and NOx emissions performance of Euro 6 diesel vehicles under various chassis dynamometer and on-road conditions including latest regulatory provisions", Science of the Total Environment 666 (2019) 337–346.
4. 行政院環保署, “車輛排放管制、環保駕駛與綠色運輸推廣計畫” (2017).
5. Commission Regulation (EU) 2016/427 of 10 March 2016, amending Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 6), Official Journal of the European Union, L 82/1 (2016).
6. Commission Regulation (EU) 2016/646 of 20 April 2016, amending Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles, Official Journal of the European Union, L 109/1 (2016).
7. Commission Regulation (EU) 2017/1154 of 7 June 2017, amending Regulation (EU) 2017/1151 supplementing Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information, amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EC) No 692/2008 and Commission Regulation (EU) No 1230/2012 and repealing Regulation (EC) No 692/2008 and Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council as regards real-driving emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 6), Official Journal of the European Union, L 175/108 (2017).
8. Commission Regulation (EU) 2018/1832 of 5 November 2018, amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EC) No 692/2008 and Commission Regulation (EU) 2017/1151 for the purpose of improving the emission type approval tests and procedures for light passenger and commercial vehicles, including those for in-service conformity and real-driving emissions and introducing devices for monitoring the consumption of fuel and electric energy, Official Journal of the European Union, L 301/1 (2018).
9. Valverde Morales Victor et al., “On-road testing with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) - Guidance note for light-duty vehicles”, Publications Office of the European Union (2018).