

가솔린 차량의 차대동력계 표준모드 별 추종성 분석 및 배출가스 특성에 관한 연구

서동춘¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

A Study on the the Follow-up Analysis and the Characteristics of Exhaust Gas by Standard Mode of Chassis Dynamometer of Gasoline

Dong Choon Seo¹, Sung-Young Park^{2*}

¹Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 배출가스 및 연비시험에서 드라이브 품질을 평가하기 위해서 가솔린 시험차량 1대를 선정하여 측정하고, 그 측정결과와 제작사가 제시한 값과 비교하여 허용오차 범위(연비-5%, 온실가스+5%, 이하 “허용오차범위”)를 초과하는지 평가하였다. 측정결과와 평균값이 제시한 값과 유효한지 데이터를 분석하였다. 본 연구에서는 SAE J2951 평가방법을 기반으로 시험자간의 주행모드 추종성을 가지고 허용오차범위에 대한 데이터 확보를 위해 시험을 수행하였다. 시험차량은 2L급 가솔린차량을 선정하였다. 검증결과 주행 추종성은 고의적인 주행조건에서 전체 값이 커지고, 부드러운 주행조건 일 때, 값이 줄어드는 것을 확인하였다. 주행 추종성 분석결과 수치가 1에 가까울수록 정확하게 주행한 것이며, (-) 음의방향으로 분포하고 있는 가혹조건과 (+) 양의방향으로 분포하고 있는 완만한 조건이라 할 수 있다. 본 연구에서 수행된 시험의 분석을 시험자간 드라이브 추종성에 대한 기초 데이터를 확보하였고, 이러한 기초 데이터는 연비모드의 목표 속도 허용범위 내에서의 운전추종성에 대한 연비 상관성을 분석하였고, 향후 측정결과는 연비측정 모드별 배출가스 DB 확보 및 연비제도에 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

Abstract In this study, a gasoline test vehicle was evaluated for drive quality in emissions and fuel economy tests. The measurement results were compared with the manufacturer's suggested values to evaluate whether the tolerance ranges (fuel efficiency -5%, greenhouse gas +5%) were exceeded. We carried out tests with test subjects based on the SAE J2951 evaluation method. The test vehicle was a 2L gasoline vehicle. The drive following performance was found to increase under deliberate driving conditions and decreased in smooth driving conditions. As a result of the analysis of the drive following performance, the closer the value is to 1, the more accurate the driving is. (-) indicates harsh conditions, and (+) indicates gentle conditions. The basic data on the driver following between testers was obtained by analysis of the tests. The fuel efficiency correlation with the drive following performance within the target speed range of the fuel consumption mode. In the future, these measurement results can serve as key data for securing an exhaust gas database and fuel efficiency system for each measurement mode.

Keywords : Driving Quality Evaluation, Driving Mode, Fuel Economy, EER, IWR

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju Univ.)

email: sungyoung@kongju.ac.kr

Received May 9, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised August 9, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

최근 승용차 분야의 미래 기술은 연비향상을 위한 기술개발 노력으로 집중되고 있는 가운데, 기존의 운행되고 있는 차량에 대한 반복 실차시험 평가를 통해 연비 및 배출가스 현황을 검토하고, 지속적인 온실가스저감 대책 수립에 활용하기 위한 선행연구가 지속되고 있으며, 이와 관련하여 차량 운전패턴 분석을 통한 연비효율 개선이 주목받고 있다[1].

이러한 노력에도 불구하고 연비와 관련하여 반복적으로 문제가 되는 것은 각 소비자들이 실제로 주행에서 느끼는 체감연비와 시험 환경에서의 공인연비가 다르다는 것이며, 이는 운전자의 주행습관에 따라 연비 변화가 발생할 수 있다는 것을 보여준다.

주행습관은 배출가스 및 연비결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 높은 연비가 확보되는 안전주행 운전자에 비해 급출발과 급정지를 자주 하는 공격적인 주행 특성의 운전자는, 상대적으로 엑셀레이터와 브레이크의 작동을 더 많이 발생시켜 엔진 출력의 가파른 변화를 가져와 연료 소모량이 증가하게 한다. 따라서 차량 주행시 왜곡되는 많은 일정 수준의 연비 확보를 위해서는 목표속도에 도달하기 위한 가속도가 확보된 시간 내에서 최대한 완만하게 이루어질 수 있도록 페달작동이 이루어져야 한다.

연비시험은 시험자의 숙련도에 의존하기 때문에 인증된 연비에서도 편차가 존재할 수 있다. 일반적인 연비시험은 일정하게 정해진 표준 주행패턴을 따라 허용범위(상한, 하한 속도는 규정된 시간 1초)가 유지되는 주행을 통해 측정된 배출가스 결과로 에너지소비효율을 계산한다. 특정한 주행 패턴이 모든 교통상황에 대표적으로 적용되기에는 어려우며, 경우에 따라서는 적절치 않을 수 있다.

이에 본 연구에서는 연비 인증시험 중에 발생하는 연비 편차를 조사하는 것을 목표로 하여 차대동력계 상에서의 차량 주행시험을 진행하였으며, 이를 통해 시험자간 휴먼에러(Human error)를 정량화하였고, FTP-75 및 HWFET 모드에서 시험자의 운전숙련도에 따른 연비편차 및 주행패턴에 대한 상관성 분석을 수행하였다.

2. 실험 장치 구성 및 방법

2.1 시험자동차

주행추종성의 상관성 분석을 위해 사용된 대상차량은 국내에서 가장 보편적으로 운행되는 2.0L급 승용차로 선정하였고, 세부제원은 Table 1.과 같다.

Table 1. Specifications of test vehicles

Content	
Engine type	2.0 CVTC II
Year	2013
Fuel	Gasoline
Engine displacement	1 998 cc
Reference weight	1 587 kg
Max. power	141 hp
Max. torque	19.8 kg·m
Transmission	Auto (CVT)
Fuel economy	14.1 km/L

2.2 시험조건

동등한 시험자 초기 조건을 만족하지 않으면 재현성에 편차를 주어 상관성 시험에 영향을 미칠 수 있다. Case1부터 Case 5의 운전자는 에너지소비효율 주행추종성 시험에 숙련된 전문 시험요원으로 선정하였고, Table 2.의 시험조건을 준수하여 본 연구를 수행하였다. 시험 자동차의 연료는 대기규칙 별표 33호의 기준에 적합한 연료를 사용하였다.

드라이브 품질 평가방법에 의거하여 연비계산을 위해 필요한 입력값은 시험 시 해당 차량의 실시간 속도, 주행 저항, 도로부하의 등가관성중량이다[2].

가속은 지시된 변속절차에 따라 부드럽게 하여야 한다. 만약 차량이 지정된 속도로 가속되지 않으면 차량의 속도가 운전계획표에 명시된 속도에 이를 때까지 가능한 최대의 힘을 내도록 운전하여야 한다. 정속은 가속으로부터 다음의 정속으로 넘어 갈 때 엔진브레이크나 스톱을 전폐는 피하고, 엑셀레이터 작동 시 일정한 위치로 고정시켜서 진행해야 한다.

실시간 시험데이터는 측정 데이터의 취득이 중단되지 않고 지속적으로 수행되어야 한다. 40 CFR Part 86.115-78 Appendix 1에 따르면 차속 데이터는 10Hz(0.1초) 단위로 측정된 값을 취득하여야 한다.

SAE J2951에서 제시하는 Index 중 본 연구에서 평가한 색인은 EER(Energy Economy Rating), ASCR(Absolute Speed Change Rating), IWR(Inertial Work Rating), RMSSE(Root Mean Squared Speed Error)이며, 각 Index의 계산 방식은 아래 Eq. (1)부터 Eq. (4)에 나타내었다[2].

$$EER = \frac{\left(\frac{D}{CE}\right)_{theoretical} - \left(\frac{D}{CE}\right)_{actual}}{\left(\frac{D}{CE}\right)_{theoretical}} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

$$CE = \sum_{i=1}^N [(M \cdot a_i + F_0 + F_1 V_i + F_2 V_i^2) \cdot d_i] \quad (1-1)$$

Where, CE Cycle Energy, D distance

$$ASCR = \frac{ASC_{actual} - ASC_{theoretical}}{ASC_{theoretical}} \cdot 100[\%] \quad (2)$$

$$ASC = \Delta t \sum_{i=1}^N |a_i| [m/s^2] \quad (2-1)$$

Where, ASC absolute speed change summation, a_i vehicle acceleration(m/s²)

$$IWR = \frac{IW_{actual} - IW_{theoretical}}{IW_{theoretical}} \cdot 100[\%] \quad (3)$$

$$IW = \sum_{i=1}^N [M \cdot a_i \cdot d_i] [J] \quad (3-1)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (VA_i - VT_i)^2}{N}} \quad (4)$$

Where, VA actual vehicle speed, VT target vehicle speed

속련된 운전자와 비속련된 운전자의 운전조건의 차이를 Driving Trace로 구별하기 위한 시험자간 상관성 시험조건은 다음과 같다. 대부분의 연비 시험은 정형화된 목표차속을 설정하고 있으며, Fig. 1.과 같이 상/하한속도는 1초 이내의 속도곡선 상에서 3.2km/h(2m/h) 속도 이내로서 시험자는 이 속도를 추종하여 시험시간동안 목표 추종 허용범위 안에서 차량을 운전하게 된다. 이러한 시험조건을 만족하기 위한 운전은 사람이 직접 하기 때문에 계획된 목표 속도에서 벗어날 수가 있으며, 이를 확

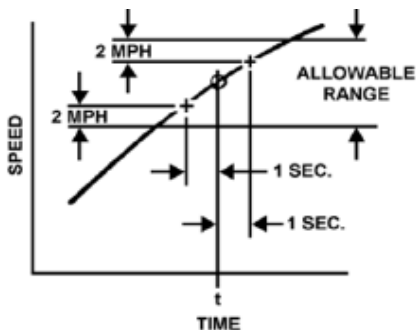


Fig. 1. Speed tolerance definitions[2]

인하기 위해 공인 시험자의 주행 추종성을 확인하여 각 시험결과에 대한 비교 분석을 하고자 한다.

Table 2. Test condition and procedure description

Procedures	Contents
①	laboratory at room temperature : 25 ± 1℃
②	Warm-up at constant speed of 80 km/h for 30 minutes, Acquisition of Dynamometer setting value after coast-down
③	Preliminary mode (UDDS)
④	5 minutes before the test and after over 80km/h Hot test laboratory at room temperature(25±1℃)
⑤	Combined mode(FTP-75 & HWFET)
⑥	Headlight ON during test

2.3 연비측정장비

본 연구를 위한 시험을 위하여 사용된 장비는 국내에 보급된 배출가스 시험을 위한 공인인증 장비로서 장치구성은 Fig. 2.와 같다.

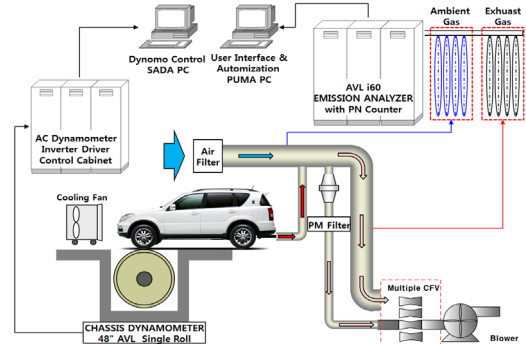


Fig. 2. Schematic diagram of experiment

연비 측정 장치는 실내에서 도로주행을 모사 할 수 있는 차대동력계(RPL-12000)와 주행 시 차량에서 배출되는 배출가스를 측정 및 분석하는 배기분석계(160)로 구성되며 상세제원은 Table 3.과 Table 4.에 나타내었다.

Table 3. Specifications of the chassis dynamometer

Model	RPL-12000
Type	Single-Roll MIM(Motor in the middle)
Inertia Range	Min. 454kg(1 000 lbs) ~ Max. 5 440kg(12 000 lbs)
Max. Speed	200 km/h
Accuracy	Speed : 0-2 km/h <0.1 % ~ 2-200 km/h <0.01 %

Table 4. Specifications of the emission analyzer

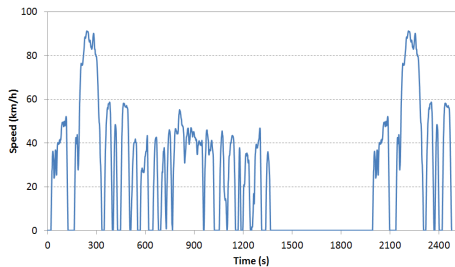
Model	I60	
CO	0~50 ... 2500 ppm or more	NDIR
CO ₂	0~0.5 ... 20 vol%	NDIR
THC	0~50 ... 5000 ppm or more	HFID
NO.NOx	0~10 ... 5000 ppm or more	CLD
CH ₄	0~10 ... 500 ppm	Cutter/FID

사용된 시험장비는 법에 의한 형식승인을 획득하고 규정된 정도검사를 필한 장비이다.

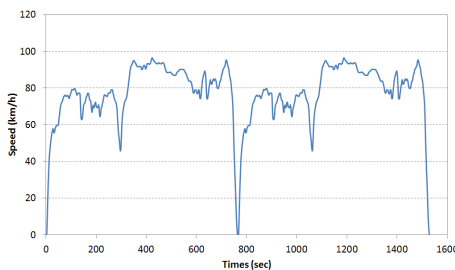
2.3.1 연비측정방법

연비측정을 위해 시험모드는 공동고시 내에 있는 CVS-75(FTP-75) 및 HWET 모드이며 Fig. 3.에 나타내었다. 배터리 상태에 따른 발전제어의 영향을 동일하게 적용하기 위해, Table 2.와 같이 주행 시 전조등 ON 상태로 시험을 수행하였다.

$$FE = \frac{640}{(0.866 \cdot HC + 0.429 \cdot CO + 0.273 \cdot CO_2)} \quad (5)$$



(a) FTP-75



(b) HWFET

Fig. 3. Descriptions of vehicle driving test modes

연비는 Table 4.와 같은 제원의 배기분석계에서 분석된 배출가스 측정항목 THC, CO, CO₂의 결과를 카본발란스법에 대입하여 계산하였다. 그리고 휘발유 에너지소비효율 및 연료소비효율 계산식은 Eq. (5)에 나타내었다.

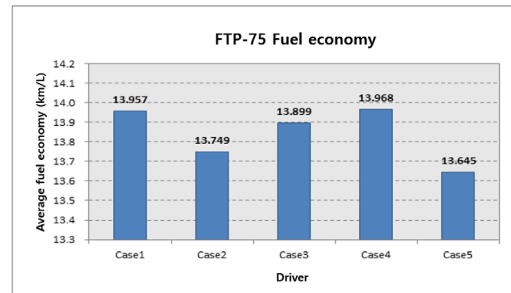
국내 휘발유 물성치가 반영하지 않은 구연비 계산식을 적용하여 결과를 도출하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

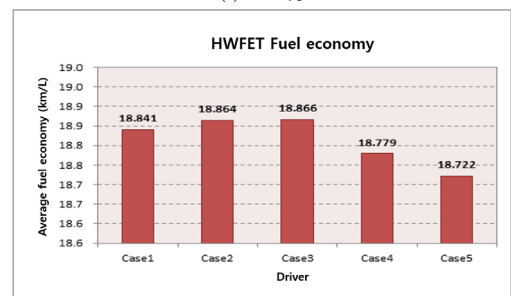
3.1 시험조건 별 연비측정 결과

시험에 따른 연비결과는 Fig. 4.와 같이 나타내었다. FTP-75모드 수행 결과 평균연비는 약 13.844 (km/h)로 나타났으며, 시험자간 평균연비의 편차는 1.9 ~ 2.3% 수준으로 나타났다[4].

HWFET모드를 수행한 결과 시험자간 평균 연비는 18.814(km/h)로 나타났으며, 시험자간 평균연비 편차는 1% 수준으로 나타났다. HWFET모드보다 FTP-75모드에서 연비차이가 보인 이유는 정속모드가 대부분인 HWFET 모드보다 가/감속구간이 많은 주행특성에 따라 차이를 보이는 것으로 추정된다.



(a) FTP-75

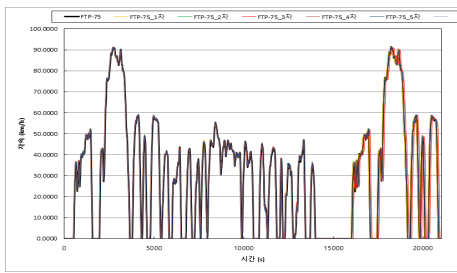


(b) HWFET

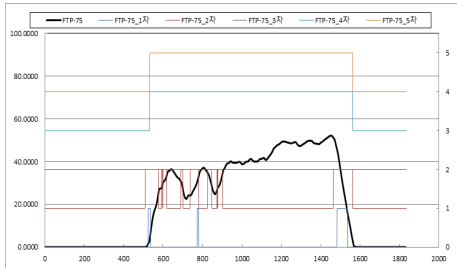
Fig. 4. Fuel economy(FTP-75, HWFET)

3.2 시험차량의 드라이브 품질 분석

FTP-75모드의 추종성을 확인하였고, Fig. 5. 도시주행모드(Part 1)의 차량 파라미터를 분석하였다.

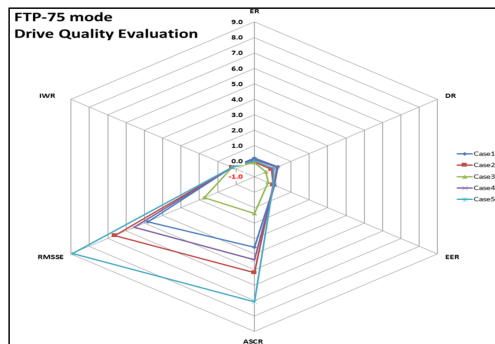


(a) FTP-75

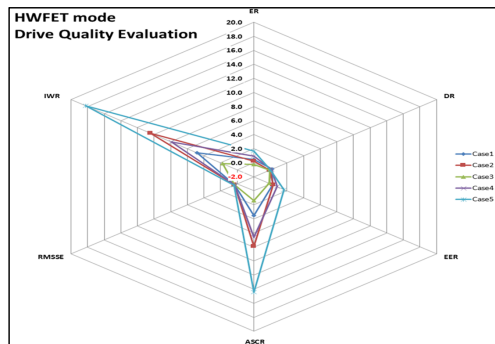


(b) FTP-75 Phase 1 Trace Error

Fig. 5. Drive quality evaluation method of SAE J2951



(a) FTP-75

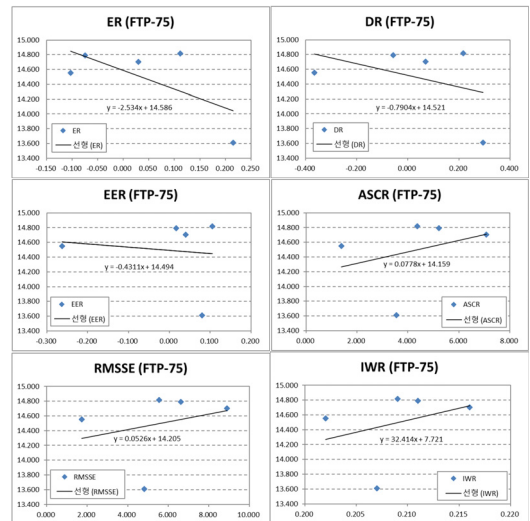


(b) HWFET

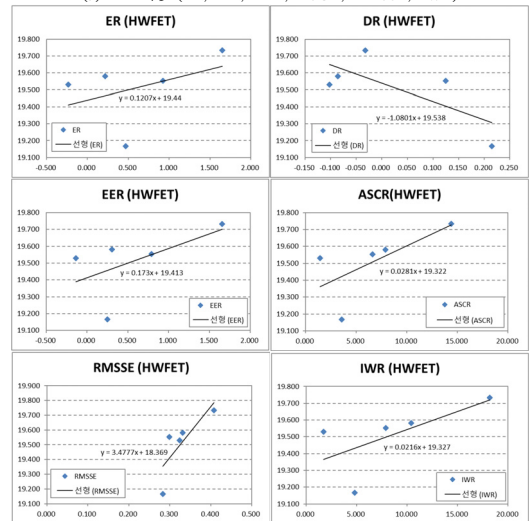
Fig. 6. Drive quality evaluation method of SAE J2951

허용범위 내(3.2 km/h) 시험자간 주행패턴을 정리하여 기준모드 대비 시험자간의 모드주행 시 가/감속 부분에 따른 빈도수에 따른 감속도의 편차율을 나타내었다. 가/감속 구간의 차속데이터를 분석하여 주행편차를 계산하였다. Case1(FTP-1차)는 72개, Case2(FTP-2차)는 290개, Case3(FTP-3차)는 14개, Case4(FTP-4차)는 395개, Case 5(FTP-5차)는 1448개의 주행편차를 환산하였다.

차대동력계 드라이브 품질평가는 SAE J2951 규격을 이용하였다. 차량속도 데이터는 0.1초(10Hz)에서 측정되었으며, 에너지등급(ER), 에너지경제등급(EER), 절대속도 변화등급(ASCR) 및 관성등급(IWR)방법을 시험자 별로 데이터를 구분하여 비교 분석하여 Fig. 6.에 나타내었



(a) FTP-75 (ER, DR, EER, ASCR, RMSSE, IWR)



(b)HWFET(ER, DR, EER, ASCR, RMSSE, IWR)

Fig. 7. Drive quality Evaluation result

다[2-3].

ASCR은 예정된 추종성과 관련하여 Case 3의 부드러운 운전과 Case 5의 공격적인 운전패턴을 확인할 수 있었다. IWR은 광범위한 분석방법과 연비를 비교하는데 사용하였다. 추종성은 다음 Fig. 7.과 같이 비율 차이로 정의되며, 표준 및 부드러운 주행패턴은 양수에 가깝고, 공격적인 운전패턴은 최대 85% 이상 측정값의 차이를 보였다. 주행조건의 민감도는 FTP-75모드보다 HWFET 모드에서 약 10배 더 크다 [5].

4. 결론

본 연구에서는 공인연비 복합모드인 FTP-75 모드 및 HWFET 모드를 수행하여 시험자간 드라이브 품질 평가 방법을 비교 분석하였다.

1. 시험자간 주행추종성의 상관성시험 분석결과, Case3 시험자 대비 FTP-75 평균 0.323[km/l], HWFET 0.144[km/l]의 연비차이를 나타냈다.
2. 드라이브 품질 평가 결과를 시험자간 데이터를 비교를 통해서 부드러운 운전을 한 Case3 시험자보다 공격적인 운전을 한 Case5 시험자에 경우 평균 2% 연비가 악화되었다.
3. 복합모드에서 시험자간 운전방식에 따른 추종범위는 EER(%) -0.2~0.1 / -0.1~1.6, ASCR(%) 1.3 ~7 /1.4~14, RMSSE(mile/h) 1.7~8.9 / 0.2~0.4, IWR(%) 0.2 / 1.7~18.2 으로 나타났다.
4. EER(Energy Economy Rating)을 이용한 주행추종성 분석결과 정규 분포를 보여주며, 평균은 1.7 에 가깝게 나타났다.

본 시험을 통하여 복합모드의 목표 속도 허용범위 내에서의 운전 추종성에 대한 기초 데이터를 확보하였고, 이러한 데이터는 시험자간의 운전경향을 파악하여 연비 영향도 분석이 가능한 정량적 자료로 활용될 것으로 사료된다.

References

[1] S. J. Shin, H. S. Roh, S. H. Hur, D. M. Kye, "Analysis on Fuel Consumption and Emission Reduction Effects of

Lightweight Flatbed Trailers Using Heavy-Duty Chassis Dynamometer", Volume,24(1)pp.47-61, March 2017.

DOI :10.34143/jtr.2017.24.1.47

- [2] SAE J2951, "Drive Quality Evaluation for Chassis Dynamometer Testing", SAE International, Sur-face Vehicle Recommended Practice, 2014
- [3] H. Wi and J. Park, "Analyzing uncertainty in evaluation of vehicle fuel economy using FTP-75", International Journal of Automotive Technology, Volume 14, Issue 3, pp 471-477, June 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-013-0051-x>
- [4] Wood, E., Gonder, J., Jehlif, F. (2017). "On-Road Validation of a Simplified Model for Estimating Real-World Fuel Economy" SAE Technical Paper 2017-01-0892.
DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-01-0892>
- [5] S. J. Kwon, D. C. Seo, S. J. Kang, M. K. Kang, Y. H. Seo, "Drive Quality Evaluation of Emission and Fuel Economy for Chassis Dynamometer Testing", Transaction of KSAE, pp.76, 2018.

서 동 춘(Dong-Choon Seo)

[준(학생)회원]



- 2010년 2월 : 한밭대학교 전기전 자제어공학부(공학사)
- 2019년 8월 : 공주대학교 기계공 학과(공학석사)

<관심분야>

내연기관 성능개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 1993년 2월 : 충남대학교 기계공 학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 기계공 학과 (공학석사)
- 2002년 5월 : Texas A&M Univ. 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부, 정교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발