

## 중형저상버스의 개별주행모드에 따른 연료소비율 평가

정재욱\*, 노윤식, 안병규  
전북자동차기술원 FGCV개발센터

### Evaluation of the Impact of Fuel Economy by Each of Driving Modes for Medium-Size Low-Floor Bus

Jae-wook Jung\*, Yun-sik Ro, Byong-kyu Ahn

FGCV Development Center, Jeonbuk Institute of Automotive Technology

**요약** 국토교통부에서는 교통약자의 이동 편의 증진을 위하여 승하차에 편리한 저상버스를 도입하였다. 표준모델로 고시된 저상버스는 11 m 급, 압축천연가스(CNG, Compressed Natural Gas)를 사용하는 차량으로 개발되었다. 11 m 급 저상버스는 길이 좁은 농어촌 및 산간지역 도로여건에서의 운행과, CNG 연료의 특성상 충전시설의 한계로 인하여 연료보급의 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 국토교통부에서 교통약자의 이동편의 증진을 위해 진행되는 중형저상버스 표준모델 기술개발 과제의 일환으로 (주)타타대우상용차에서 제작한 LF-40을 대상으로 공차(CVW, Curb Vehicle Weight), 반적차(HVW, Half Vehicle Weight), 적차(GVW, Gross Vehicle Weight) 3가지 중량조건으로 실도로 타행주행을 통하여 주행저항 값을 취득하였고, WHVC, NIER-06, 복합 에너지 소비효율 측정 대상차량 외 차량의 에너지 소비 효율을 측정하기 위한 시험 방법인 정속주행 (60 km/h)모드를 사용하였다. 시험 결과 공차상태의 연비가 가장 좋았으며, 대표적으로 WHVC 모드에서는 공차대비 반적차는 3.5 %, 공차대비 적차는 12 % 연비소모율의 차이를 보였다. 60 km/h 정속 주행모드에서는 다른 시험모드와 다르게 공차보다 반적차의 연비가 높은 것으로 측정되었다. 추후 배출가스 데이터의 분석이 필요할 것으로 판단된다.

**Abstract** The Ministry of Land, Infrastructure and Transport has introduced low-floor buses, which are convenient for passengers getting on and off the bus and for the handicapped. The standard bus model is 11 m long and uses compressed natural gas (CNG). However, this model has drawbacks in narrow rural road conditions such as those in farming and fishing villages and mountainous areas, as well as difficulty in refueling since CNG facilities are not readily available. In this study, running resistance values were obtained by coasting performance tests on actual roads using a Tata Daewoo LF-40 model with three different weight conditions: curb vehicle weight (CVW), half vehicle weight (HVW), and gross vehicle weight (GVW). The test methods include WHVC, NIER-06, and constant-speed driving at 60 km/h. These tests were used to measure the fuel economy of vehicles other than the target vehicles to obtain the combined fuel economy. The energy efficiency was highest in the case of CVW. In the WHVC mode, the fuel consumption rates of HVW and GVW were typically 3.5% and 12% higher than that of CVW, respectively. In constant-speed driving, the fuel efficiency of HVW was higher than that of CVW. Further research is required to analyze the exhaust gas data.

**Keywords** : Driving Mode, Fuel Economy, Heavy-Duty Chassis Dynamometer, Medium Size Low-Floor Bus

본 논문은 국토해양부 교통물류연구사업으로 수행 중인 “중형저상버스 표준 모델 개발(번호 13TLRP-B068837-01)” 연구로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jae-Wook Jung(Jeonbuk Institute of Automotive Technology)

Tel: +82-63-472-2342 email: jjw4393@jiat.re.kr

Received July 26, 2016

Revised (1st August 18, 2016, 2nd August 25, 2016)

Accepted September 9, 2016

Published September 30, 2016

## 1. 서론

도시인구의 꾸준한 증가는 대부분의 교통수단들이 대도시 및 수도권 중심으로 개발 및 추진되도록 하였으며, 상대적으로 인구 공동화 현상이 발생하고 있는 농어촌 및 산간지역 주민들은 대중교통 수단의 변화에 대한 혜택으로부터 소외된 감이 없지 않다. 정부에서는 교통약자의 이동 편의성 증대를 위하여 대중교통을 이용하기 편리한 여러 가지 시설투자를 함은 물론이고 승하차를 위한 계단이 없는 저상버스를 널리 보급하기 위해서 표준모델을 개발하여 고시하였다. 그러나 운행 중이거나 고시된 저상버스는 11m급으로 도로여건이 충분히 갖춰지지 않은 지역을 운행하기에는 부적합한 면이 많다. 더욱이 연료로 사용하는 압축천연가스인 CNG는 충전시설의 한계로 인하여 버스의 운행이 드문 농어촌 및 산간지역에서는 연료보급이 용이하지 못하다. 그래서 국토교통부는 대중교통 수료가 적은 농어촌 지역에서 운행가능하고 농어촌 지역이나 도시지역에서 이용승객 대비 상대적으로 과도한 차량의 크기를 줄임으로서 용도에 맞게 연료효율성을 높이고 이용 승객에 대한 서비스의 질을 향상시킬 수 있는 중형저상버스를 개발하여 고령인구 비율이 높은 농어촌 및 산간지역과 장애인들이 많은 도심지역 중 대형저상버스가 접근하기 어려운 지역을 중심으로 보급하여 교통약자들에 대한 이용 편의 증진을 향상시키기 위해 노력하고 있다.[1][2]

중형버스는 길이 7 m이상, 9 m미만의 버스를 말하는데, 국내의 경우 중형저상버스에 대한 표준모델이 없고 대형저상버스에 대한 표준모델만 존재하여 국토교통부에서 기획하고 있는 교통약자의 이동편의 증진을 위한 중형저상버스의 개발을 위해서는 중형저상버스의 표준모델을 지정하여야 한다. 국내외에 도입된 저상버스의 경우 계단을 오르지 않고 버스에 탑승할 수 있어 교통약자의 교통이용 편의성을 향상시켰다. 국내 대형저상버스 표준모델에서는 차량바닥높이를 340 mm이하로 규정하고 있으며, 차량이 옆으로 기울어져 저상면을 낮출 수 있는 차체 경사장치(Kneeling System)를 적용하여 60 mm 이상 조절이 가능하도록 명시하고 있고, 휠체어와 유모차가 이동 가능하도록 버스에 경사판을 장착하였다. 출입구의 크기는 앞문 900 mm이상, 중간문 1,200 mm 이상을 적용하도록 명시되어 있다. 또한 버스내에 휠체어와 유모차를 위한 공간 및 고정장치를 두고 있다. 차실천장높이는 저상면의 경우 2,100 mm이상, 뒷부분 통로면

에서는 1,900 mm이상으로 규정하고 있다.[3]이런 규정에 따라 제작되어 일부지역으로 보급 후 운영되어지는 버스는 전부 대형저상버스이며, 현재 국내에는 중형저상버스에 대한 표준모델이 없으며, 이에 대한 연구도 전무한 실정이다. 중형저상버스는 기존에 개발 보급되어 운행 중인 대형 저상버스보다 작은 크기로 운영비 절감 및 대형저상버스를 도입하기 어려운 지역에 보급이 가능하여 활용도가 높은 이점이 있다. 또한 기존의 중형버스는 교통약자들이 이용하기에 불편한 부분을 중형저상버스의 개발 및 보급을 통해 해소할 수 있다.[4]이와 같은 요구에 발맞추어 국토교통부에서는 친환경성이 강조된 추진시스템을 갖춘 중형 저상버스로서, 자동차관리법 제3조에 근거하여 승합자동차의 중형급으로 교통약자 이동편의 증진법에 의거하여 중형저상버스를 개발 및 보급하고자 기획하였고, 타타대우상용차에서 국내 최초의 중형저상버스인 LF-40모델을 완성하였다. LF-40은 대형저상버스 표준에 준하여 중형버스 크기로 제작되었으며, 유로6 디젤엔진을 동력원으로 사용하는 내연기관 차량이다. [5][6]

본 연구에서는 국토교통부에서 기획하고 타타대우상용차에서 제작한 중형저상버스인 LF-40의 차량 중량별 연료경제성을 평가하였다. 승차인원 30명(착좌 10명, 입석 20명)으로 제작되어진 LF-40에 대하여 공차(Curb), 반적차(HVW), 적차(GVW) 상태로 구분하여 각각의 중량조건에 대한 연료경제성을 비교 분석하였다.

## 2. 시험장치 및 사이클

### 2.1 시험장치

본 연구에 사용된 시험차량은 Table 1의 제원을 갖는 중형저상버스를 사용하였다. 시험장치는 대형 차대동력계와 연료경제성 평가 시 발생하는 배기가스의 분석을 위해 전유량희실터널방식의 배기분석계를 사용하였다. 시험장치에 대한 상세한 내용 및 사양은 Table 2~3과 같다. 시험 셀 환경은 온도와 습도를 제어하며 온도는 산업통상자원부 고시 중 하나인 “자동차의 에너지 소비효율, 온실가스배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시”에 의거하여 셀 온도를 25 ℃로 제어하며, 습도는 연비 측정의 정확성을 높이기 위해 50%±1%로 시험 셀의 습도를 제어하였다.

Table 1. Vehicle Specification

| Spec.                     | TDCV Medium low-floor bus                         |
|---------------------------|---|
| Overall dimension (L×W×H) | 7495×2050×2615 mm                                 |
| Wheel base                | 4750 mm   |
| Engine(ps/kg-m)           | 170 / 41 (3.0L)                                   |
| Transmission              | Manual 6 speed                                    |
| Suspension (F/R)          | Double wishbone Air spring / Air spring with ECAS |
| Brake type                | VAH   |
| Tire                      | 205/75R17.5                                       |
| Riding capacity(Persons)  | 30  |

Table 2. Specifications of emission measurement system

| Item              | Specifications   |
|-------------------|--|
| Company           | HORIBA   |
| Type              | Bag Measurement System                                       |
| Model             | CVS7400NT, VETS-7000NT, MEXA-7100D                           |
| Measuring Gases   | CO, CO <sub>2</sub> , THC, NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> |
| PM filter size    | 47mm(CFR1065)  |
| CVS Max flow rate | 90m <sup>3</sup> /min  |
| Tunnel Diameter   | 18 inch  |

Table 3. Specifications of chassis dynamometer

| Item                      | Specifications           |
|---------------------------|--------------------------|
| Company                   | AVL                      |
| Roll diameter             | 72 inch                  |
| Max Permissible axle load | 25,000kg                 |
| Motor Type                | AC IGBT Vector           |
| Max Continuous power      | 540kW                    |
| Max tractive Force        | 136,985N to 25km/h       |
| Vehicle Cooling Fan       | 144,000m <sup>3</sup> /h |

## 2.2 시험사이클

본 연구에서는 미국, 유럽, 일본 및 호주의 도로패턴을 복합한 WHVC 사이클과 국립환경과학원에서 국내 도심주행 주행패턴을 분석하여 만든 NIER사이클 중 06번 사이클(NIER-06) 그리고 정속 60 km/h 모드를 사용하였다. 시험 사이클의 특징은 Table 4-5와 같다.[7][8]

WHVC 사이클의 경우 Fig. 1과 같이 Urban, Rural, Motorway 구간으로 3phase로 구성되어 있다. NIER-06 사이클은 Fig. 2와 같이 도심주행 패턴위주의 1phase로 구성되어 있다.

Table 4. Characteristics of WHVC test cycle

| Section       | Urban    | Rural    | Motorway | Total    |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
| Distance      | 5.3km    | 5.8km    | 8.9km    | 20km     |
| Duration      | 900sec   | 481sec   | 419sec   | 1800sec  |
| Average speed | 21.3km/h | 43.6km/h | 76.6km/h | 40.1km/h |
| Maximum speed | 66.2km/h | 75.9km/h | 87.8km/h | 87.8km/h |

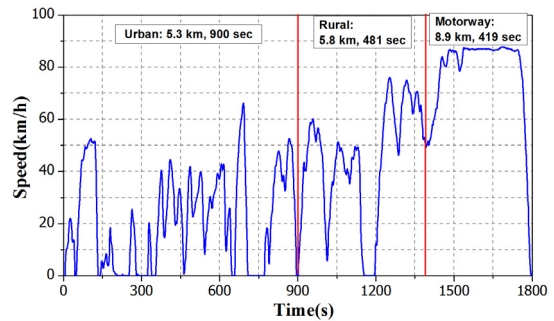


Fig. 1. WHVC test cycle

Table 4. Characteristics of NIER-06 test cycle

|               |         |
|---------------|---------|
| Distance      | 4.8 km  |
| Duration      | 873 sec |
| Average speed | 20 km/h |
| Maximum speed | 68 km/h |

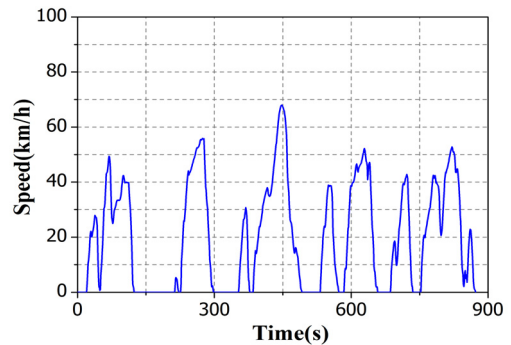


Fig. 2. NIER-06 test cycle

## 3. 시험조건 및 방법

### 3.1 주행저항 산출

본 연구에서 사용한 주행저항 데이터는 JFCM을 이용

한 환산식을 사용하지 않고 실도로 타행주행을 통하여 계산된 주행저항데이터를 사용하였다. 실도로 타행주행을 통하여 취득한 속도-시간 감속 데이터를 바탕으로 주행저항을 계산하기 위해 GPS 차속측정 장비를 이용해 실제 도로 시험을 진행하였다. 타행시험방법은 KS R ISO 1052-1의 규정에 준하여 주행로 위의 평균풍속이 10 m/s이하 조건에서 진행하였다. 도로 상의 기후조건이 급변한 경우는 계속적인 반복시험을 통해 오차를 최소화 하였다.[9]시험차량에 모래주머니를 이용하여 각각의 조건에 따라 적재하였으며 주행도로 및 시험차량등은 Fig. 3과 같다. 차량의 중량별로 측정된 시간-속도 감속데이터는 Fig. 4와 같이 측정하였다. CVW조건에서 타행주행 시험 시 주행방향에 따라 풍속편차가 발생하여 주행저항 산출결과가 방향에 따라 약 20%의 차이를 보인다.

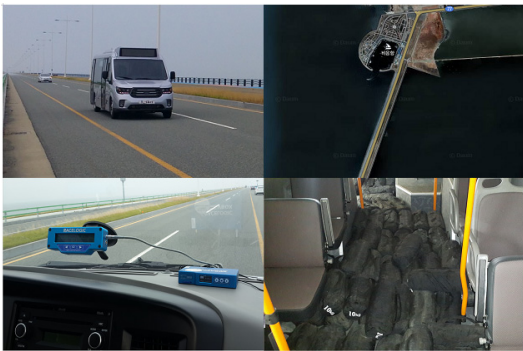


Fig. 3. Image of coastdown test equipments and test road

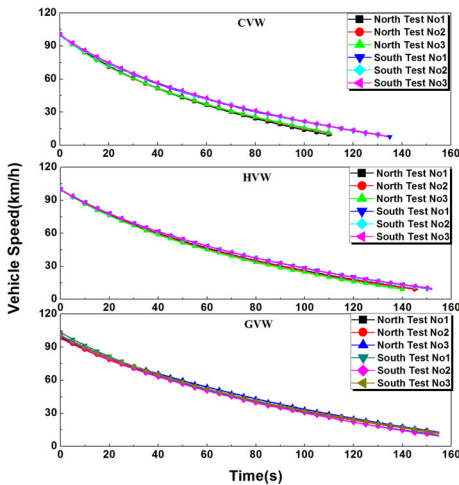


Fig. 4. Shape of Coastdown test on real road

각 주행방향(남-북)별로 측정된 속도-시간 감속데이터의 평균값을 이용하여 주행저항을 산출하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

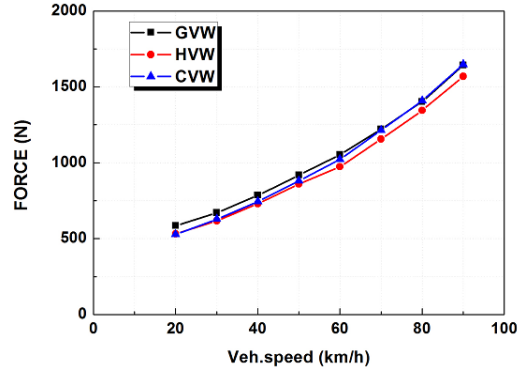


Fig. 5. Comparison of real road tractive resistance

## 4. 시험결과

### 4.1 WHVC 사이클 주행 결과

Fig. 6~8은 WHVC 모드의 추종성 분석결과이며, 각 시험 중량 조건별로 비교하였다. 각 중량조건과 무관하게 모든 구간에서 사이클에 대한 추종성이 양호하다는 것을 알 수 있다. 이것으로 볼 때 실도로 주행을 통한 주행저항력의 산출이 환산식에 비해 환경온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 환경조건이 열악하지만 측정오차를 줄이기 위해 반복시험을 진행하여 취득한 데이터의 정확도가 환산식과 거의 동등수준이며, 실도로 주행저항력을 사용하여 연료경제성평가를 진행한 결과의 신뢰도가 상당히 높다는 것을 알 수 있다.

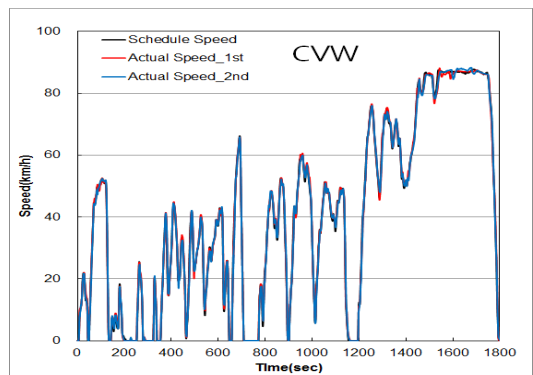


Fig. 6. Shape of WHVC cycle traceability on CVW

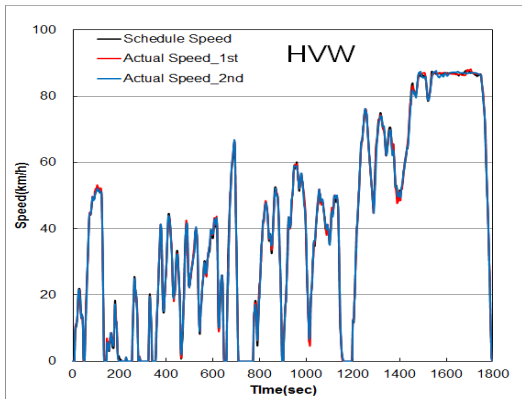


Fig. 7. Shape of WHVC cycle traceability on HVW

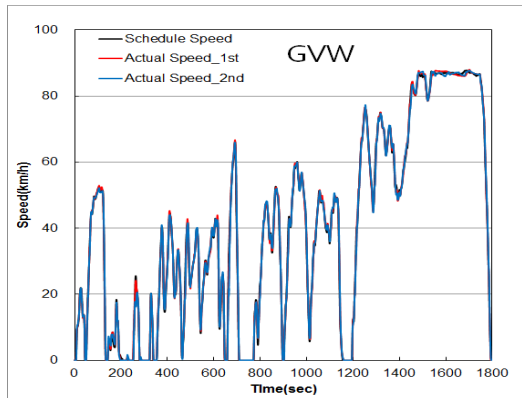


Fig. 8. Shape of WHVC cycle traceability on GVW

#### 4.2 연비평가 결과

주행저항에 따른 각 중량조건별 연비 비교결과는 Fig. 9~11과 같다. 예상했던 바와 같이 공차상태에서의 연비가 가장 우수하며, 전체적으로 가감속과 정지구간이 많은 도심주행구간은 연료경제성이 떨어지지만 주행거리가 전체적으로 짧아 모드 전체를 볼 때 연료경제성에 미치는 영향은 크지 않으며, 가속구간이 많은 고속도로구간은 전체 싸이를 주행거리의 59.7%를 차지하여 전체 평균연비에 가장 많은 영향을 미치고 있다. 또한 급격한 가감속과 정지구간이 적고 전체적으로 중속의 비중이 높은 지방도의 경우는 고속도로구간과 비슷한 연비를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 차량의 적재조건에 따라 공차대비 반적차는 3.4%, 공차대비 적차는 12% 정도의 연비차이를 보이고 있으며, 반적차와 적차 조건의 경우 약 8.3% 정도의 연비차이를 보이고 있음을 확인하였다.

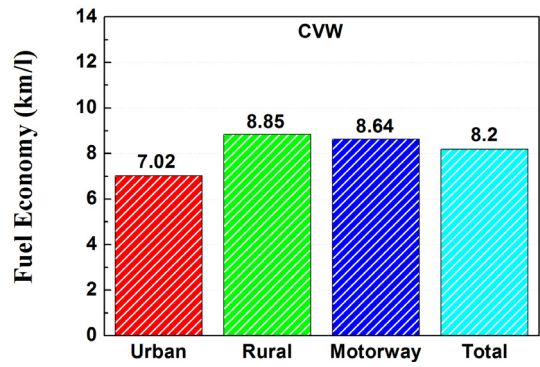


Fig. 9. Results of fuel economy test on CVW

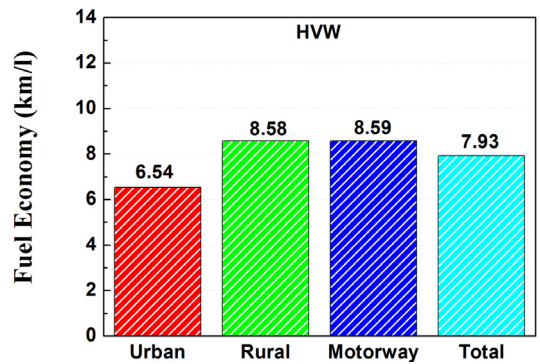


Fig. 10. Results of fuel economy test on HVW

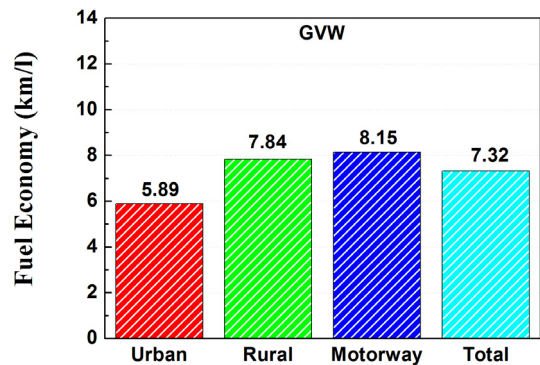


Fig. 11. Results of fuel economy test on GVW

#### 4.3 NIER-06 사이클 주행결과

서울시내에서 운행되는 도시버스의 평균 속도인 19.8 km/h급에 해당되는 NIER-06모드의 추종성 결과는 Fig. 12~14에 나타내었다. 시험에 사용한 중형저상버스는 국토교통부의 상용차량속도제한에 따라 100 km/h로 최고 속도 제한이 걸려 있는 상태이지만 NIER-06모드의 최

고속도는 약 70 km/h 수준이므로 추종성 결과와 같이 적제조건과 무관하게 전 구간에서 추종성이 아주 양호한 것을 확인 할 수 있었다.

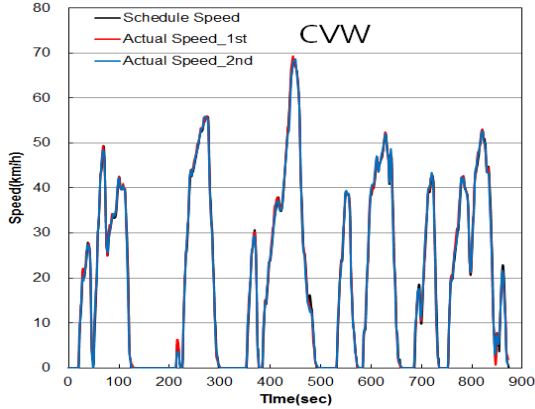


Fig. 12. Shape of NIER-06 cycle traceability on CVW

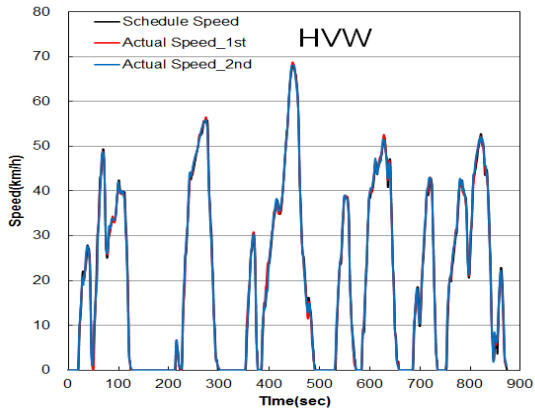


Fig. 13. Shape of NIER-06 cycle traceability on HVW

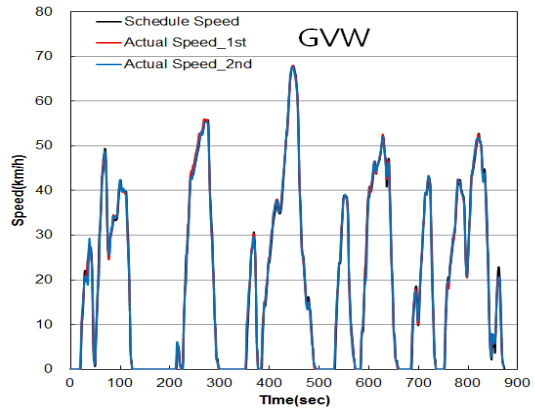


Fig. 14. Shape of NIER-06 cycle traceability on GVW

#### 4.4 연비평가 결과

주행저항력을 이용한 각 중량조건별 연비 평가 결과는 Fig 15와 같이 나타난다. NIER-06 모드의 경우 평균 차속은 19.8 km/h이지만 정지구간을 제외한 주행구간의 평균차속은 30 km/h가 된다. 연료경제성을 평가하기 위해 사용한 세 모드 중에서 운행거리가 가장 짧고 도심 주행을 모사하다 보니 정지와 가감속의 비율이 높아 전체적인 연료경제성 평가 결과로 볼 때 가장 하위의 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. NIER 모드는 06모드 외에 가속주행모드인 07모드도 있으나 국내의 대도시 시내버스 운행모드를 대표하고 있으므로 본 연구에서는 06모드를 이용하였다.

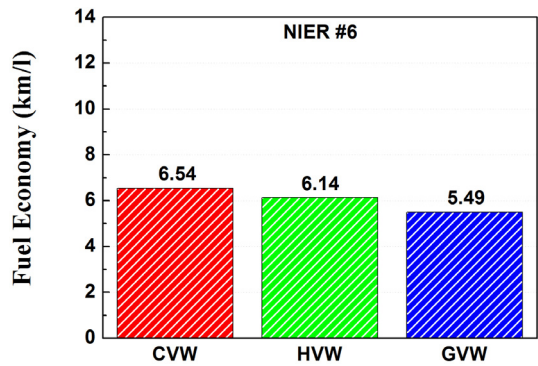


Fig. 15. Results of fuel economy test at NIER-06 mode

마지막으로 Fig 16은 60 km/h 정속 주행모드를 이용하여 측정된 연료경제성 평가 결과를 나타내고 있다. 60 km/h 정속 주행모드에서는 다른 시험모드와 다르게 공차상태 보다 반적차의 연비가 높은 것으로 측정되었다. 추후 배출가스 데이터의 분석이 필요할 것으로 판단된다.

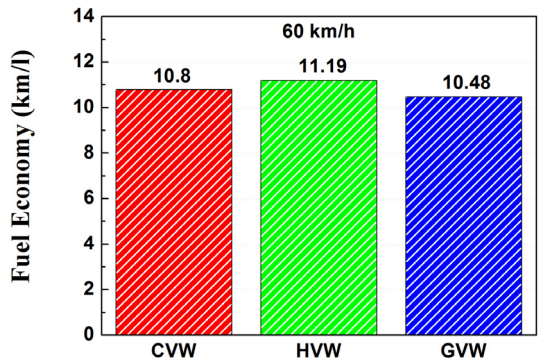


Fig. 16. Results of fuel economy test at Constants speed mode

## 5. 결론

본 연구에서는 국토교통부와 타타대우상용차에서 진행 중인 중형저상버스 표준모델 개발 과제의 성과물인 중형저상버스 표준차량(LF-40)을 이용하여 대형 차대동력계 기반 WHVC 및 NIER-06, 60kph정속 주행모드 수행 시 연료소비율에 대한 영향성 비교평가는 다음과 같다.

- 1) WHVC모드에서 측정된 연비는 CVW의 경우 평균 7.23km/L, HVW의 경우 평균 7.91km/L, GVW의 경우 평균 7.39km/L로 측정되었다.
- 2) NIER-06모드에서 측정된 연비는 CVW의 경우 평균 6.53km/L, HVW의 경우 평균 6.14km/L, GVW의 경우 평균 5.49km/L로 측정되었다.
- 3) 60kph 정속모드에서 측정된 연비는 CVW의 경우 평균 10.79km/L, HVW의 경우 평균 11.19km/L, GVW의 경우 평균 10.47km/L로 측정되었다.
- 4) 중형저상버스 표준모델(LF-40)의 주행모드와 적재 조건별 연비측정 결과는 국내 경쟁차량에 비해 약 5% 정도의 연비차이를 보이고 있다.
- 5) 차량의 제작 시 설계 중량에 비해 약 500kg이 초과되었고, 차량의 전체적인 크기가 커져 전투영면적이 커진 것이 원인으로 파악되며, 무게의 경우 현재 각 파트의 과설계 부분을 도출하여 살빼기를 진행하고 있다.

본 연구에 사용된 차량은 양산모델이 아니며, 양산으로 가기 위한 표준 1호차 수준이므로 양산모델로 갈수록 연료경제성은 좋아 질 것으로 판단되며, 향후 3호 혹은 4호차량을 이용하여 재평가를 진행하여 비교할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 교통물류연구사업으로 수행 중인 “중형저상버스 표준 모델 개발과제번호 13TLRP-B068837-01” 연구의 일환으로 작성되었습니다.

## References

- [1] J. G. Park, S. K. Jang "Decision of System Layout and Package Layout for Medium-Sized Low Floor Bus", Korean Society for precision Engineering Annual Spring Conference, pp.1455-1456, May, 2010
- [2] D. K. Koo, J. K. Mok, S. W. Jeon "Technical Requirement Analysis of Medium Size Low-Floor Bus" Korean Society for precision Engineering Annual Spring Conference, pp.1457-1458, May, 2010
- [3] J. Y. Jang, Y. J. Lee, Y. M. Woo, M. S. Lee, J. W. Lee "Technical Survey for Standard Model of Medium Low Floor Bus" the Korean Society of Automotive Engineers Annual Conference, pp.794, May, 2015
- [4] H. J. Kim, B. J. Sung, "Development of CNG Hybrid City Bus", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.35, No.2, pp.18-23, February, 2013.
- [5] G. S. Kim, J. S. Kim, Y. I. Park, C. B. Lee, "Driving Performance Prediction for Low-floor Midsize bus Using Simulator", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol.24, No.5, pp.541-547, October, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.5.541>
- [6] G. S. Kim, J. S. Kim, J. H. Shin, Y. I. Park, C. B. Lee, "Component Sizing of a Parallel Diesel Hybrid Medium Low Floor Bus", KSAE Annual Spring Conference, pp.1035, March, 2016
- [7] S. H. Yum, J. I. Park, J. H. Lee, "Simulation of Fuel Economy of Heavy duty vehicle according to US & Japan regulations", KSAE Spring Conference Proceedings, pp 487-490, 2012
- [8] J. K. Lee, Y. S. Park, H. Jung, S. H. Choi, N. N. Kim, B. S. Kim, "The Study on the test method of fuel onomy for heavy duty vehicle", KSAE Annual Conference Proceedings, pp 490-498, 2011.
- [9] Road vehicle-Road load-Part 1, "Determination under reference atmospheric conditions", KS R ISO 10521-1:2008

정재욱(Jae-Wook Jung)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경상대학교 기계공학 (공학석사)
- 2004년 8월 ~ 현재 : (재) 전북자동차기술원 선임연구원

<관심분야>

신소재, 샤시내구

**노 윤 식(Yun-Sik Ro)**

[정회원]



- 1993년 2월 ~ 2003년 2월 : 현대자동차, 상용차시설계팀
- 2006년 2월 : 전북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 전북대학교 기계공학 (박사 수료)
- 2003년 8월 ~ 현재 : (재)전북자동차기술원 수석연구원

<관심분야>  
자율주행자동차

---

**안 병 규(Byong-Kyu Ahn)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 전북대학교 기계공학 (공학석사)
- 2012년 8월 : 전북대학교 기계공학 (박사 수료)
- 2004년 8월 ~ 현재 : (재)전북자동차기술원 책임연구원

<관심분야>  
지능형 자동차