

변속 지시기를 이용한 시내버스 연비 개선

염 시 호¹⁾ · 김 기 복¹⁾ · 박 진 일^{*1)} · 이 종 화¹⁾ · 박 경 석²⁾

아주대학교 기계공학과¹⁾ · 금오공과대학교 기계시스템공학과²⁾

Improvement of Fuel Economy of a City Bus using Shift Indicator

Siho Yum¹⁾ · Kibok Kim¹⁾ · Jinil Park^{*1)} · Jonghwa Lee¹⁾ · Kyoungseok Park²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

²⁾Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 25 April 2012 / Revised 31 October 2012 / Accepted 13 March 2013)

Abstract : The gear shifting timing of a manual transmission vehicle is influencing fuel economy. This paper focuses on an gear shifting indicator of an city bus with manual transmission, which can improve fuel economy. The shift indicator is supposed to collect the vehicle data during driving, calculate and compare fuel economy with and without gear shifting, and indicate the proper gear shifting timing. The H/W and S/W of the shift indicator are developed and tested on city bus in this research. The experiments are carried out on real road by 3 different drivers and the results show the improvement of fuel economy from 6.0% to 21.4%. The average engine torque and speed are reduced due to early gear shifting and the usage of highest gear is increased. The results of chassis test are also performed and show 7.5% improvement of fuel economy.

Key words : Shift indicator(변속 지시기), Fuel economy(연비), City bus(시내버스)

1. 서 론

버스, 트럭 등의 중대형차량들은 수적으로 전체 차량의 약 5% 정도이나 연료소모량은 전체의 1/3 가량을 차지하는 것으로 알려지고 있다. 이렇게 중대형차량의 연료소모 비중이 높은 이유는 연간 주행거리가 길고 연비는 승용차량에 비해 불리하기 때문이다.^{1,2)}

일본은 2015년부터 시작될 중대형차 연비 규제치를 차종 및 차량 중량에 따라 설정하였고, 시뮬레이션을 통한 연비 측정 방법론도 공표하였다.³⁾ 미국도 2011년에 적재량에 따른 연비 및 이산화탄소 규제치를 설정하여 2014년부터 규제를 진행할 예정이다.⁴⁾ 우리나라에서도 유가 상승과 친환경 추세에 따라 중대형차의 연비 개선에 대해 관심이 상당히 높아지고 있다.⁵⁾

일반적으로 중대형차의 연비개선을 위해서는 엔진 효율개선, 동력전달계 마찰 저감, 저 마찰 타이어 개발, 공력개선 등이 요구되어진다.⁶⁾ 한편, 운전자의 운전패턴이 연비에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데, 가속과 브레이크를 사용하는 운전 습관이나 변속시점 차이 등으로 인해 실도로 연비가 운전자별로 큰 차이를 보이는 것으로 나타나고 있다.^{7,8)} 이러한 차이점을 분석해 보면 변속기 운영에서 운전자들의 습관을 바꾸어서 연비를 개선할 수 있는 여지가 있음을 알 수 있다.

차량이 동일한 속도와 부하로 주행하더라도 엔진의 회전수와 부하는 변속기의 단수에 의해 달라지며 이로 인해 연비에도 차이를 보이게 된다. 따라서 연비 관점에서 최적의 변속 단수를 선택하여 엔진 효율이 좋은 조건으로 운전한다면 차량의 연비를 크게 높일 수 있을 것이다.^{9,10)}

*Corresponding author, E-mail: jpark@ajou.ac.kr

본 연구에서는 중대형차량 중에서 가급적이 특히 낮은 시내버스를 대상으로 최적의 변속시점을 알려주는 변속지시기 적용에 따른 연비개선 효과를 파악하고자 하였다. 이를 위해 변속 시점에 따른 연비 영향을 선행 시험 데이터를 이용하여 분석하였고, 이를 토대로 변속지시기에 사용될 변속 알고리즘을 개발하였다. 이어 본 연구에서는 소형 임베디드 컴퓨터를 이용하여 변속 지시기를 제작하였고, 운전자가 인지할 수 있도록 실험 차량에 설치하여 실험하고 그 효과를 분석하였다. 실험은 운전자의 운전 성향에 따라 세 가지 경우에 대하여 수행하였으며 이를 통해 변속지시기의 효과에 대해 파악하였다.

2. 연구 내용

2.1 변속 알고리즘 개발

Fig. 1은 엔진 운전 조건의 변화에 따른 엔진 연비 효율 변화를 설명하는 선도이다. 제동연료소비율이 동일한 지점을 등효율선으로, 엔진의 파워가 동일한 지점을 등과위선으로 표시하였다. 일반적으로 엔진의 제동연료소비율은 등고선의 중앙에 위치할 영역일수록 유리하다. 외부 부하 변동이 없는 도로 상황에 있는 차량을 가정할 경우, 운전자가 변속을 하게 되면, 등과위 상에서 엔진의 동작점은 변동하게 될 것이다. 이 때 변속 전 후로 차량에서는 동일한 출력이 유지되나 엔진의 연비에 있어서는 차이가 발생하게 된다.

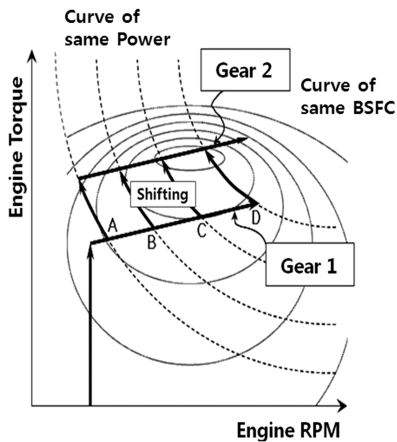


Fig. 1 Schematic of engine operating condition according to gear level

가속 과정 중 1단에서 2단으로 변하는 운전영역의 경로를 A, B, C, D 네 가지로 구분하여 표현하였다. A, B의 경우 변속 후 제동 연료 소비율이 나빠지거나 동등 수준인 반면, C나 D의 경우 변속 후 엔진 효율이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 이러한 원리를 바탕으로 운전 과정 중에 변속 전후의 연비를 비교하여 변속 여부를 지시하는 변속 알고리즘을 정립하였다.

그런데 단지 연비의 관점에서만 변속을 수행할 경우 여유 구동력이 부족하여 운전자의 가속감에 불만을 줄 수 있으므로 각 단수별 최소가속도를 설정하여 이를 초과하는 경우 변속을 지시하도록 하였다. 이 값은 이론적으로 정해질 수 있는 것이 아니므로 시험 주행과정에서 운전자의 의견을 반영하여 결정하였다. 이렇게 정립된 변속 지시 알고리즘을 Fig. 2에 순서도로 나타내었다.

엔진 컨트롤러로부터 CAN 통신을 통해 실시간으로 엔진 속도와 토크를 받아서 현 변속 기어단수 상태에서의 엔진 연비와 변속 후 엔진 연비를 비교하여 필요시 기어단수를 바꾸도록 지시하는 것이 기본 로직이다. 부가적으로 운전자의 가속 페달 깊이에 의해 설정된 가속도 상/하한을 현 주행 가속도와 비교하여 기어 변속 여부를 최종 결정한다. 비교되는 가속도 상/하한은 가속페달 깊이 및 기어단수에 따라 설정되어진 값이다.

변속 후 추정 가속도(여유 구동력)는 주행저항, 구동계 마찰, 부하상태를 이용하여 계산할 수 있다.

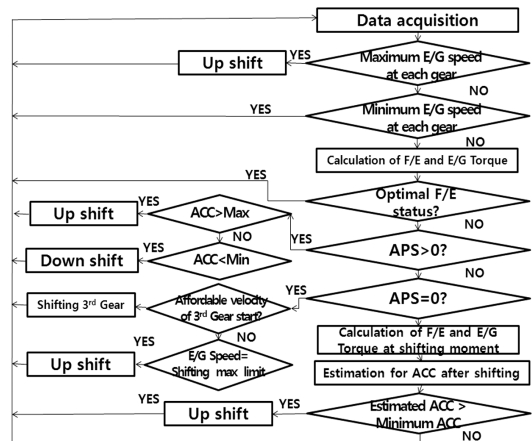


Fig. 2 Algorithm for shift indication

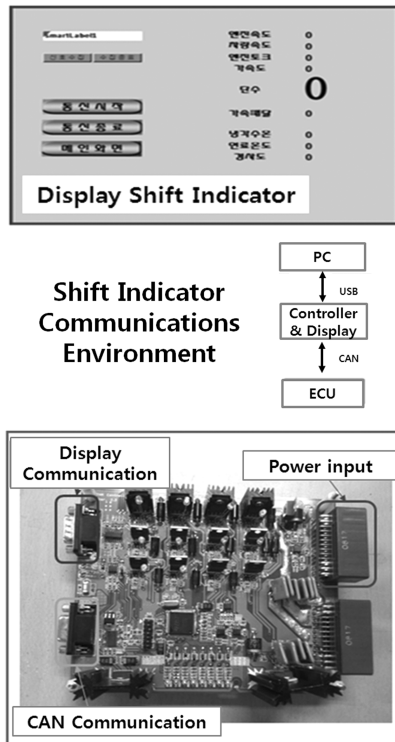


Fig. 3 Schematic of shift indicator

계산된 가속도가 설정된 최소 가속도보다 큰 경우 변속을 지시한다.

2.2 변속 지시기 제작

본 연구에서 개발된 변속 지시기는 크게 임베디드 컴퓨터와 어댑터 모듈로 구성되어 있다. 어댑터 모듈은 차량 OBD 단자와의 CAN통신을 통하여 차량의 각종 운전 정보를 임베디드 컴퓨터에 전송하는 역할을 수행한다. 임베디드 모듈은 내장된 변속 알고리즘과 어댑터 모듈에서 수신한 정보를 이용하여 운전자에게 변속 지시 및 운전 상태를 알려주는 역할을 수행한다.

임베디드 컴퓨터와 PC간 USB통신을 통하여 임베디드 컴퓨터에 설치된 변속 지시 프로그램의 변수 수정 및 데이터 확인을 수행할 수 있다.

2.3 연비 개선 효과 시험

변속 지시기의 적용에 따른 연비 향상 정도를 파악하기 위하여 실제 노선을 운행하는 시내버스에

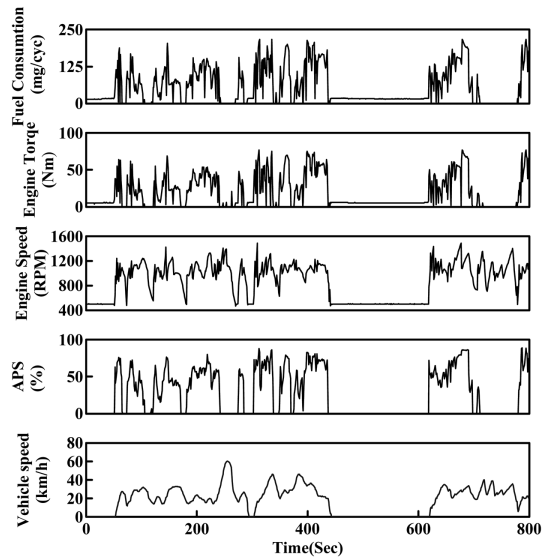


Fig. 4 Result of vehicle data acquisition

적용해 보았다. 시험은 경기도 수원 시내버스 노선 중 운행 거리 약 37.6km, 운행 시간 약 110분, 총 89개의 정거장을 갖는 노선을 선정하였다. 실험에 사용된 시내버스는 배기량 11000cc급, 최대 출력 290마력의 CNG엔진과 5단 수동 변속기 장착 차량이다.

연비 비교를 위해 운전자의 자유 의지에 따라 변속한 경우와 동일한 운전자가 변속 지시기의 지시에 따라 변속을 수행한 경우에 대해 측정을 수행하였다.

본 연구는 운전 성향이 다른 3명의 운전자에 대하여 시험을 진행하였는데, 각각의 운전자는 변속지시에 따른 운전과 자유 의지에 따른 운전을 모두 수행하였다. 실도로 시험은 교통 상황, 날씨 조건, 승객수 등의 변동이 크고 이는 연비에 영향을 주므로 통계적인 오차를 줄이기 위해서는 운전자수와 시험 횟수를 크게 늘려야 하지만 현실적인 여건을 고려하여 운전자수와 시험횟수를 제한하였다. 이를 보완하고자 실도로 시험과 별도로 사시동력계 시험을 통하여 변속지시기의 효과를 검증하였다.

2.4 시험 결과 및 분석

2.4.1 실도로 실험 결과

최종 시험 결과를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 변속 지시기가 적용되었을 때의 연비 개선 효과

Table 1 Result of real road test

Test condition	Base F/E [km/m ³]	Indicator F/E [km/m ³]	Improvement of F/E [%]
Driver #1	1.55	1.74	12.3
Driver #2	1.59	1.67	6.0
Driver #3	1.41	1.72	21.6

Table 2 Result of real road test by Driver #1

	Driver#1 Base	Driver#1 Indicator
W/O Idle Mean Engine Torque [%]	25.2	23.3
W/O Idle Mean Engine Speed [RPM]	1132	1027
Mean Vehicle Speed [km/h]	27.6	25.3
Mean APS [%] (W/O Idle)	43.5 (20.7)	38.6 (19.1)
Total Distance [km]	37.7	37.5
Total Test Time [s] (W/O Idle)	6620 (4919)	7609 (5354)
F/E [km/m ³]	1.55	1.74
F/E [km/m ³] (W/O Idle)	1.66	1.92

를 나타내기 위해 자유 변속 시의 연비를 기준으로 변속 지시기 적용에 따른 연비 차이를 백분율로 표시하였다.

Driver #1의 경우 전체 운행 연비가 12.3% 향상된 결과를 보이고 있는데, 변속 지시기 유/무에 따른 세부적인 데이터 비교 분석 결과는 Table 2와 같다.

평균 엔진 토크가 25.2%에서 23.3%로 감소하였고, 평균 엔진 속도의 경우 9.3%가 감소하였다. 또한 평균 차속이 8.3% 감소하였고 전체 운행 시간이 14.9% 증가하였다. 정지 구간을 뺀 주행 시간은 8.8%가 증가하여 약 7분의 운행 시간 지연을 보였다. 정지 구간을 뺀 주행 구간의 연비는 15.9%가 향상 되었다. 운전시간의 증가는 상대적으로 저속에서 변속이 이루어져 차량 가속도가 감소한 것에 기인한다. 평균 엔진 속도의 감소가 연비 개선과 직결되지는 않지만 일반적인 운전자의 변속 시점이 연비 최적 변속 시점보다 늦기에 평균 엔진 속도가 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 전체 운행 시간에서 각 기어단의 점유율을 나타낸 그래프이다. Driver #1의 기어단 점유율을 살펴보면 변속 지시기 적용에 따라 3단 및 4단 점유율이 감소하였으며, 5단 점유율이 9.6%에서 19.4%

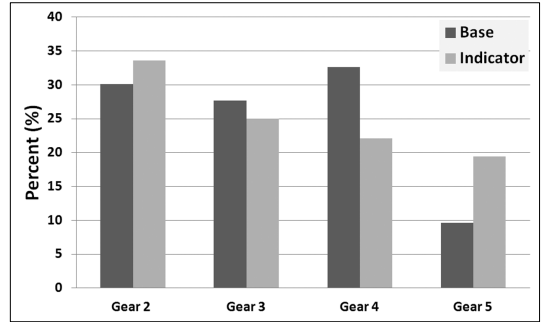


Fig. 5 Usage of gear by Driver #1

로 크게 증가하여 빠르게 고단으로 변속한 것을 알 수 있다. 5단 점유율 증가는 동일 차속 주행 시 저속 고부하 운전을 의미하며 연비 관점에서 유리한 결과를 가져온다.

Table 3을 보면, Driver #2의 경우에도 Driver #1과 마찬가지로 변속 지시기에 의해 낮은 평균 엔진 속도(-6.5%)와 APS 감소(-9.0%)에 따른 평균 속도 감소(-4.5%)를 나타내고 있으며, 정지구간을 제외한 주행 시간 약 4분의 증가를 보인다. 운행 전체 연비는 6.0% 향상되었다.

Driver #2의 기어단 점유율은 Fig. 6과 같다. 점유율 변동이 Driver #1과 비슷한 결과를 보이고 있다.

Table 4를 보면, Driver #3은 평소와 과격한 운전 습관을 보이는 운전자로서 다른 운전자와 비교하여 상대적으로 효율이 좋지 않은 엔진 고속 영역을 사용하는 것으로 보인다.

변속 지시기 적용에 따라 엔진 속도와 부하가 크게 감소한 것을 확인 할 수 있다. Driver #3의 운행시

Table 3 Result of real road test by Driver #2

	Driver#2 Base	Driver#2 Indicator
W/O Idle Mean Engine Torque [%]	23.6	22.6
W/O Idle Mean Engine Speed [RPM]	1125	1052
Mean Vehicle Speed [km/h]	26.7	25.5
Mean APS [%] (W/O Idle)	39.3 (20.0)	35.7 (18.2)
Total Distance [km]	37.6	37.6
Total Test Time [s] (W/O Idle)	6729 (5088)	7201 (5309)
F/E [km/m ³]	1.59	1.67
F/E [km/m ³] (W/O Idle)	1.71	1.82

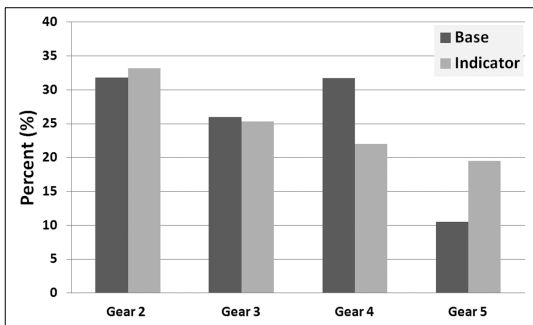


Fig. 6 Usage of gear by Driver #2

Table 4 Result of real road test by Driver #3

	Driver#3 Base	Driver#3 Indicator
W/O Idle Mean Engine Torque [%]	28.7	23.3
W/O Idle Mean Engine Speed [RPM]	1232	1136
Mean Vehicle Speed [km/h]	29.9	27.9
Mean APS [%] (W/O Idle)	52.5 (27.7)	32.1 (19.1)
Total Distance [km]	37.6	37.4
Total Test Time [s] (W/O Idle)	5233 (3628)	6404 (4832)
F/E [km/m ³]	1.41	1.72
F/E [km/m ³] (W/O Idle)	1.49	1.85

간 차이는 약 20분으로 크게 나타났으며 평균 엔진 토크는 28.7%에서 23.3%로 크게 낮아졌다. 평균 엔진 속도 또한 7.8%로 큰 감소를 보였고, 정지구간을 제외한 주행구간에서 24.1%의 연비 향상 효과를 나타내었다.

Driver #3의 변속 지시기 유/무에 따른 각 기어단 점유율은 Fig. 7과 같다. 모든 Driver의 경우와 마찬

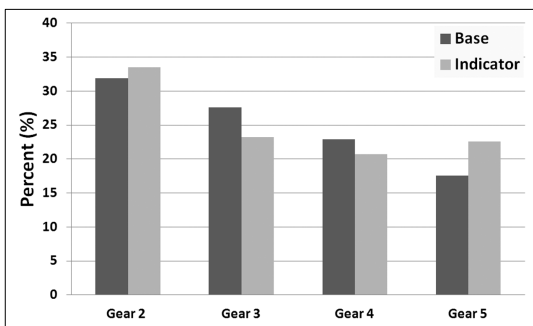


Fig. 7 Usage of gear by Driver #3

가지로 5단 점유율이 17.6%에서 22.6%로 크게 증가한 결과를 얻을 수 있었다.

2.4.2 차대동력계 실험 결과

변속 지시기의 적용 효과를 알아보기 위하여 실제 노선 운행 시내버스에서 실험과 더불어 차대동력계에서 실험을 진행 하였다. 이때 중대형차량 실험에 사용되는 NIER06모드를 사용하여 실험을 진행 하였다.

차대 동력계실험결과 실 도로와 마찬가지로 변속 지시기 적용에 따라 엔진토크와 엔진속도는 감소하였고 연비는 상승하였다. 평균 엔진 토크는 23.0%에서 21.0%로 낮아졌고, 평균 엔진 속도는 6.5% 감소하였다. 그리고 7.5%연비 향상 효과를 나타내었다. 연비 효과가 실 도로에 비해 작은 이유는 가 감속 패턴이 정해진 차대 동력계 시험의 특성이 반영되었기 때문이었다.

Fig. 8은 차대 동력계에서 기어단의 점유율을 나타낸 그래프이다. 차대동력계 실험 결과 기어 단수 점유율은 전체적으로 고단의 비율이 증가하였다. 특히 고속구간에서 4단 비율이 감소하였고 대신 5

Table 5 Result of driving on chassis dynamometer

	NIER06 Base	NIER06 Indicator
W/O Idle Mean Engine Torque [%]	23.0%	21.0%
W/O Idle Mean Engine Speed [RPM]	947 RPM	886 RPM
Mean Vehicle Speed [km/h]	22.8 km/h	22.1 km/h
Mean APS [%] (W/O Idle)	34.6% (20.1%)	30.4% (17.5%)
Total Distance [km]	4.9 km	4.8 km
F/E [km/m ³]	1.61 km/m ³	1.73 km/m ³

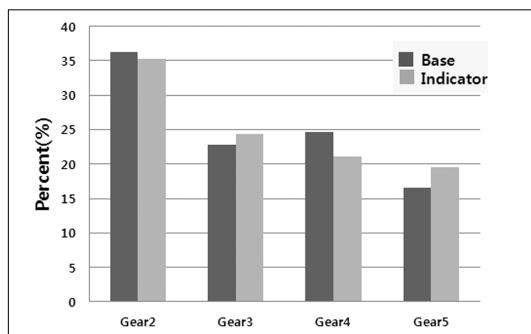


Fig. 8 Usage of gear during chassis dynamometer test

단 비율이 증가 하는 것을 알 수 있었으며 이는 실도로 결과와 유사하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 수동변속기형 대형 차량의 변속시점을 연비 관점에서 최적화하기 위한 변속지시기를 개발하고 적용 효과를 파악하였다. 변속지시기는 임베디드 컴퓨터와 디스플레이로 구성되며 변속지시 알고리즘은 현재 운전조건과 변속 후 운전조건에서의 연비를 비교하고 엔진의 여유구동력을 고려하여 변속시점을 판단한다. 실도로와 사시동력계 실험을 통하여 변속지시기 적용에 따른 효과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 시내버스 노선 운행 실험을 통하여 운전 성향이 다른 3명의 운전자에 대해 각각 15.9%, 6.0%, 24.1%의 연비 향상 효과를 나타내었다. 5단 기어 점유율이 증가하였으며 이는 변속지시기 적용으로 인해 저속 고부하 운전이 이루어졌음을 의미한다.
- 2) 차대 동력계 실험결과 평균 엔진 토크와 엔진 속도는 감소하였고 7.5% 연비 상승효과를 나타내었다.
- 3) 변속지시기의 적용으로 버스 운행 시간이 약 10% 증가하였다. 이는 가속 시 상대적으로 저속에서 신속한 변속이 수행되어 변속지시기 적용 전에 비해 가속도가 감소하였기 때문으로 판단된다.

References

- 1) H. Han, Analysis of the Fuel Economy Factor of the Commercial Vehicle, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon, Korea, 2005.
- 2) H. Song, "Modeling and Experiments for the Break-down of Fuel Consumption in a Passenger Car," Ph. D. Dissertation, Ajou University, Suwon, Korea, 2002.
- 3) Susumu SATO, Fuel Economy Test Procedure for Heavy-duty Vehicles: Japanese Test Procedures, National Traffic Safety and Environment Laboratory, 2008.
- 4) R. LaHood, Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-duty Engines and Vehicles: Final Rules, EPA, 2010.
- 5) G. Lim, "Research on the Necessity of City Bus Driving Cycle for Fuel Consumption Test," KSAE08-S0084, pp.512-517, 2008.
- 6) D. Lee, Development of Fuel Consumption Test Mode for Heavy Duty Trucks, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon, Korea, 2006.
- 7) K. Kim, "The Effect of Gear Shift Pattern on Fuel Economy of an City Bus," KSAE09-B0020, 2009.
- 8) M. Heo, "The Analysis of Fuel Economy Improvement according to Gear Shift Timing on City Bus," KSAE10-A0097, 2010.
- 9) S. Chung, "A Study on the Characteristics of Fuel Consumption Rate according to the Change of Gear Shift Pattern," KSAE04-S0023, 2004.
- 10) Y. Hong, Development of Gear Shifting Algorithm for Improvement of Fuel Economy on a Manual Transmission Large Sized Bus, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon, Korea, 2008.