

서울의 CNG버스를 전기버스로 대체했을 때 환경 개선 효과 분석

An Analysis on the Effect of Environmental Improvement on Replacing CNG Bus in Seoul with Electric Bus

최 병 주*, 나 혜 중**, 최 욱 돈***, 김 종 해***★

Byeong-Joo Choi*, Hae-Joong Na**, Uk-Don Choi***, Jong-Hae Kim***★

Abstract

In particular, vehicles with internal combustion engines of public transportation such as diesel and CNG buses are in urgent need of measures to reduce emissions as they have a long daily total mileage, long driving hours and a large number of vehicles. In this paper, the fuel consumption rate (km/kWh) was actually measured through road test of electric buses. Based on the measured values, CO₂ emissions from internal combustion engines and electric buses were calculated per bus. In addition to environmental improvement effects such as the expected reduction of carbon dioxide compared to CNG buses when replacing city buses with electric buses, additional effects were analyzed when the replacement of CNG buses is expanded to electric buses.

요 약

자동차에서 배출되는 배기가스가 대도시의 대기 오염원 중 큰 비중을 차지하고 있다. 특히 디젤이나 CNG버스 등 대중교통의 내연기관 차량은 매일 총 주행거리와 운행시간이 길고 차량 수량이 많기 때문에 배출가스 저감 대책이 시급하다. 본 논문에서는 실제로 전기버스의 도로 주행시험을 통한 연료소모율(km/kWh)을 측정하였다. 측정값을 근거로 버스 한 대당 내연기관과 전기버스에서 발생하는 CO₂배출량을 계산하였다. 전기버스를 시내버스로 대체할 경우 CNG버스 대비 예상되는 이산화탄소 저감 등 환경개선 효과와 더불어 전기버스로 대체가 확대될 경우 부가적인 효과를 분석하였다.

Key words : CO₂ emission, CNG(Compressed Natural Gas), Diesel Bus, Electric Bus, Fuel consumption rate

* Professor, Department of Electrical Engineering,
Yeungnam University
** Research Professor, Institute of industrial Technology,
Yeungnam University
*** Professor, School of Electronic and Electrical
Engineering, Daegu Catholic University
★ Corresponding author
E-mail : kjhassk@cu.ac.kr, Tel : +82-53-850-2781
Manuscript received Aug. 31, 2020; revised Sep. 2, 2020;
accepted Sep. 21, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

정부에서는 나날이 심각해지고 있는 자동차 배출가스 저감을 위해 지금까지 전국적으로 대중교통 수단인 시내버스를 디젤에서 CNG버스로 교체해 왔다. 이와 함께 배출가스 저감 방안의 하나로 엔진과 전동기를 같이 사용하는 방식의 디젤 하이브리드버스와 CNG하이브리드 버스가 연구^{[1][2]}되어 왔으나, 최근에는 자동차용 대용량 배터리 기술의 발달로 엔진에 비해 친환경적인 순수전기버스나 연료전기버스로 바뀌고 있는 추세이다^[3]. 따라서 본 논문에서는 상용 자동차의 연비측정의 기준인

WHVC urban 모드로 실제 주행을 통해 측정된 CNG 버스의 배출가스와 전기버스의 연료소모율(km/kWh)을 비교 및 검토한 결과를 나타내었다. 버스 한 대 당 내연기관과 전기 버스에서 발생하는 CO₂ 배출량은 측정된 Data를 토대로 계산하였다. 전기버스를 시내버스로 대체할 경우 CNG버스에 비해 예상되는 이산화탄소 저감 등의 환경 개선 효과와 더불어 CNG버스를 전기 버스로 대체가 확대될 경우 부가적인 효과에 대해서도 분석하였다. 또한 본 논문에서 전기버스의 연료소모율(km/kWh)은 서울시 A노선에서 측정된 주행모드에서 측정된 값과 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

II. 본론

1. 차량 별 배출 가스

Item	Specifications	
Seating Capacity (Persons)	23+24+1	
Vehicle Weight (kg)	10,720	
Full-Length (mm)	11,050	
Overall-Width (mm)	2,480	
Full Height (mm)	3,410	
Distance between Axis (mm)	5,400	
Overhang(mm)	Front	2,400
	Rear	3,250
Track(mm)	Front	2,115
	Rear	1,855
The maximum turning radius	89	
Tire	270/OR/225-16PR	
Propulsion Motor	Max. Power (kW)	240(326hp)
	Max. Torque (Nm)	1,150
Battery	Type	Lithium ion polymer
	Capacity (kWh)	87
Maximum speed(km/h)	100	
Grade ability (%)	25	
Driving distance per one charge(km)	100@40km/h	

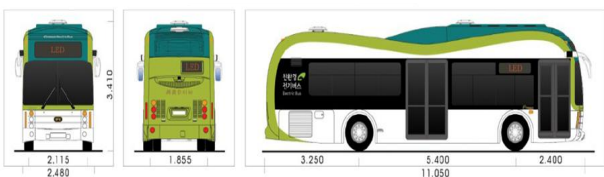


Fig. 1. Specifications of Proposed Electric Bus.
그림 1. 제안한 전기 버스 사양

전기버스와 디젤, CNG버스의 배출가스의 성분과 배출량의 차이를 알아본다. 배출량의 단위는 [g/km]이다. 연구기관의 시험에 의하면 오히려 CNG 버스에서는 디젤버스에는 없는 THC 성분 가운데 CH₄가 7.4[g/km]로 배출이 되는 것으로 나타났다^[4]. 그림 1은 본 논문에서 제안한 전기버스의 사양을 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 전기 버스의 총 좌석 수는 운전자를 포함하여 총 48명, 전기 버스 총 질량은 10,720[kg]이며, 전기 버스에서 사용한 추진 전동기의 최대 전력, 최대 토크 및 최대 속도는 240[kW], 1,150[Nm] 및 100[km/h]이다.

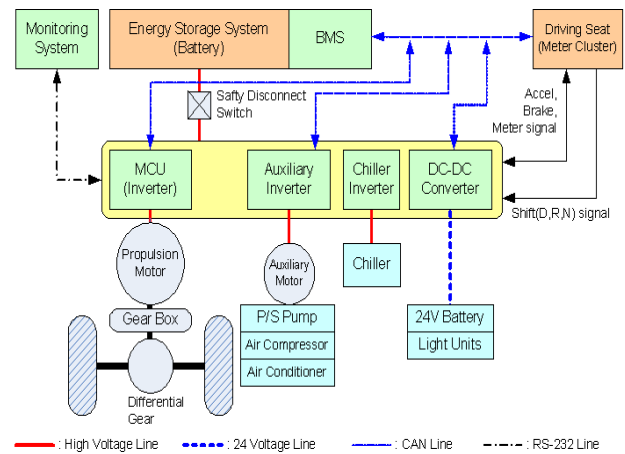


Fig. 2. Block diagram of overall system configuration of Proposed Electric Bus.

그림 2. 제안한 전기 버스의 전체 시스템 구성도

Table 1. Simulation parameters for electric bus.

표 1. 전기버스의 시뮬레이션 파라메타

Items	Specifications
Battery	Lithium ion/87[kWh]
CVW	10,720[kg]
Pay load	3,120[kg]
GVW	13,840[kg]
Auxiliary power	8.5[kW]
Gear ratio	4.05
Differential gear ratio	4.18
Gear efficiency	95[%]
Wheel radius	0.465[m]
Frontal area	7.7[m ²]
Air density	1.293
Rolling coefficient	0.01

그림 2는 본 논문에서 제안한 전기버스의 전체 시스템 구성도를 나타내고 있다. 그림 2에서 알 수 있듯이 전기버스는 차량 구동용 전동기, 전동기 제어장치(MCU), 보조제어기(ACU), 직류전원(DCU), 감속기, 배터리팩 및 배터리관리장치(MBMS), 전원차단스위치(PDU), 그리고 전기로 구동되는 히터와 전장품 냉각을 위한 칠러, 브레이크용 공기압축기, AC/PS 구동용 전동기, 그리고 외부 충전기 등으로 구성된다. 본 논문에서 전기자동차에서의 연료소모율은 1[kWh]당 주행거리를 나타내며 단위는 [km/kWh]이다. 연료소모율 계산은 “Matlab”에서 표 1의 파라메타를 사용하여 WHVC Urban모드와 서울시 A모드에서 각각 계산하였다. 서울시 A노선의 경우 주행시험 결과 도심평균속도19.8[km/h]^[2]와 유사한 19.2[km/h]이었으며, 주행시험은 HVAC를 사용하지 않은 상태에서 하였다. 전기버스의 1회 충전 주행거리는 도로의 경사도, 풍량, 차량의 무게, 배터리 용량, HVAC, 보조 장치 사용유무에 의해 결정된다. 본 논문에서 사용된 전기버스는 경량화 차체의 모델로 연비 향상을 위해 cabin을 탄소섬유와 FRP로 제작한 것으로 기존 버스에 비해 2톤가량 가볍다.^[5]

가. 전기버스의 CO₂ 배출량

전기 1[kWh]의 전력을 생산하는데 발생하는 CO₂ 배출량은 424[g/kWh]로 이는 화력발전소에서 발전시 발생하는 배출가스를 반영한 것이다. 교통 환경 연구소에서 실시한 자동차 주행거리 실태조사 결과 국가 교통 DB센터의 자료에 의하면 서울시내 일일 버스주행거리는 235.46[km/day] 연간 버스 한 대당 총 주행거리는 평균 85,942.9[km]이다. 주행시험 결과 서울시 A노선의 경우 평균 연비는 0.7[km/kWh]로 연간 전기버스 1대가 85,9429[km]를 주행한다고 가정하면 약 122,775.57[kWh]의 전력이 필요하며, 이로 인한 CO₂배출량을 계산하면 (0.424kg/kWh)*122,577.57/1,000=52.05t CO₂eq에 달한다.

나. 내연기관의 CO₂ 배출량

우선 전기버스와 디젤버스 및 CNG버스에 대해 배출가스의 성분과 각각 배출량(g/km)의 차이를 알아본다. 국가 교통 DB센터의 자료에 의하면 서울시내버스의 평균 주행속도는 19.8[km/h]로 조사되었다.^[5] 따라서, 이러한 주행 속도 패턴에서의 디

젤버스와 CNG버스의 배출가스를 측정 한 결과 표 1과 같이 CO₂배출량은 CNG버스의 경우 721[g/km]이고, 경유차는 723[g/km]이다. 질소산화물(NOx)은 경유차가 CNG에 비해 6.6529[g/km] 적게 발생되는 것으로 나타났다.

Table 2. Comparison of emissions between diesel and CNG buses[5].

표 2. 디젤버스와 CNG버스의 배출가스 비교[5]

Sortation	CO(g/km)	THC(g/km)		NOx (g/km)	PM (g/km)
		NMHC	CH4		
CNG(1)	0.0587	0.8223	7.4005	3.6246	-
Diesel(2)	1.8195	0.2508	-	10.2775	0.0404
(1)-(2)	3,120[kg]	0.5715	7.4005	-6.6529	-0.0404
Sortation	Number of particles (the number/km)		VOC (g/km)	CO ₂ (g/km)	
CNG(1)	2.36e+11		3.68	721	
Diesel(2)	3.09e+13		5.33	723	
(1)-(2)	-3.0664e+13		-1.65	-2	

시험결과 주행거리 당 오염물질 배출 평균값의 경우, CO, NOx, PM, CO₂에서는 경유 대비 CNG 버스 배출값이 (-)값으로, CNG 버스의 배출량이 적고, THC는 경유 대비 CNG 버스 배출값이 (+)값으로, CNG 버스 배출량이 더 많다. 차량 1대 당 연간 총 배출량은 식(1)에 의해 구해진다. 표 2는 디젤버스와 CNG버스의 배출가스를 비교한 결과를 나타내고 있다.

$$\text{배출량}(kg/\text{대} \cdot \text{년}) = \text{오염물질별 배출계수}(g/km) \times 1\text{일주행거리}(km/\text{일} \cdot \text{대}) \times 365\text{일}/\text{년} \times 0.001(kg/g) \quad (1)$$

2. 연료 소모율 측정 방법

일반적으로 상용차의 연료소모율을 측정할 때 대부분 WHVC(World Harmonized Vehicle Cycle)모드와 WHVC Urban모드를 사용하지만 대형트럭이나 버스의 경우에는 WHVC Urban모드를 기본으로 하고 조건에 따라 결정된 모드로 연료소모율을 측정하게 된다. 연료소모율은 식(2)에 의해서 구해진다.

$$\text{연료소모율} = \frac{1\text{회 충전주행거리}(km)}{\text{주행시소모된 전기에너지 AC총전량}(kWh)} \quad (2)$$

그림 3은 WHVC Urban모드에서의 주행 패턴을

나타내고 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이, WHVC Urban모드의 주행 패턴에서 주행 시간과 주행 거리는 각각 1,460[sec]와 8.34[km]이다. 실제로 Urban모드의 주행 패턴은 대부분 도로에서 주행하는 것이 아니라 실험실내 차체동력계에서 실시하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 WHVC Urban 모드 주행 패턴과 서울시내 A노선 주행 패턴에서의 연료소모율을 각각 계산하였다. 서울 A노선 경우의 주행시간과 주행거리는 1,440[sec] 및 7.9[km]로 실제로 노선에서의 주행 시험 결과를 나타낸다.

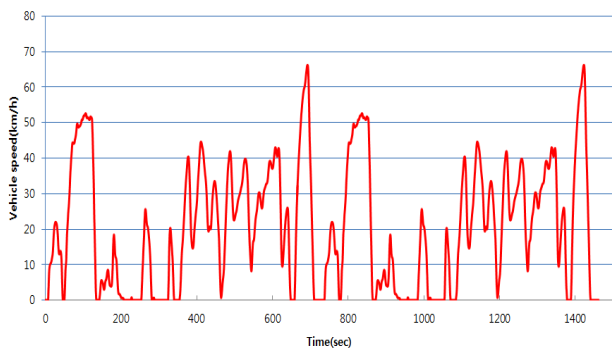


Fig. 3. Driving Pattern in WHVC Urban Mode.
그림 3. WHVC Urban 모드에서 주행 패턴

그림 4는 WHVC Urban모드에서의 연료소모율 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 시간이 경과함에 따라 리튬이온 배터리의 SOC^[6]는 SOC100%에서 SOC0%로 선형적으로 방전함과 더불어 전기버스 주행 거리 또한 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있으며, 그에 반해 전기버스의 차량 속도는 운전자와 운전환경에 의해 비선형적으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

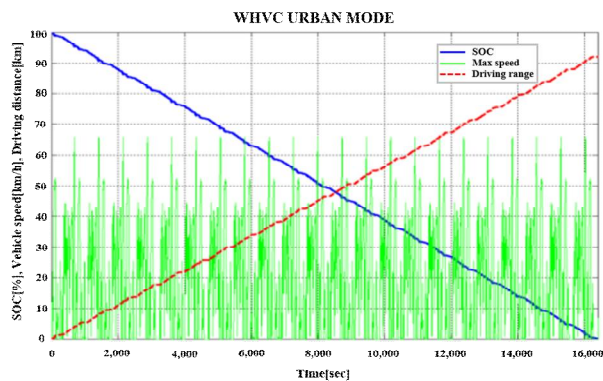


Fig. 4. Simulation Results of Fuel Consumption in WHVC Urban Mode.
그림 4. WHVC Urban 모드에서의 연료소모율 시뮬레이션 결과

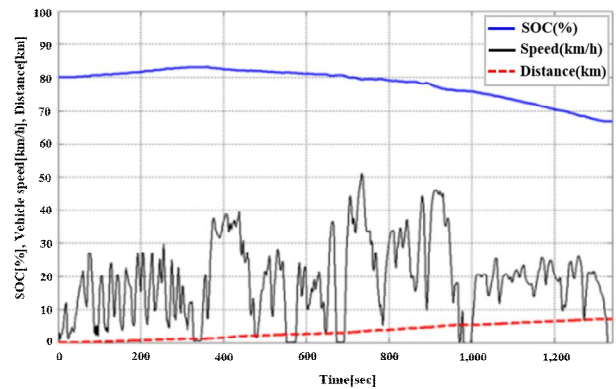


Fig. 5. Calculating Results of the Driving Pattern and Fuel Consumption rate in Seoul A Line.

그림 5. 서울시내 A노선에서의 주행 패턴과 연료소모율의 계산 결과

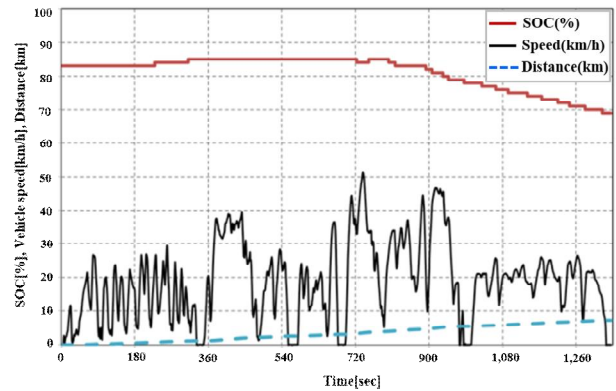


Fig. 6. Test Results of the Driving Pattern and Fuel Consumption rate in Seoul A Line.

그림 6. 서울시내 A노선에서의 주행 패턴과 연료소모율의 실험 결과

그림 5는 서울시내 A노선에서의 주행 패턴과 연료소모율의 계산 결과를 나타내고 있다. 그림 5에서 나타낸 바와 같이 서울 시내 A노선의 주행패턴에서 초기 SOC80%에서 출발하여 SOC67%까지 SOC13%방전되어 연료소모율은 0.7[km/kWh]이다. 운행 중 SOC가 처음보다 높게 나타난 부분은 감속할 때 회생 제동에 따른 충전에 의한 것이다. 그림 6은 서울시내 A노선에서의 실제 주행 패턴과 연료소모율의 실험 결과를 나타내고 있다.

가. 모드별 연료소모율

그림 4의 WHVC Urban 모드의 연료소모율 시뮬레이션에서 리튬이온 배터리를 사용한 탑재한 차량에서 측정된 결과 연비가 0.8[km/kWh]이었고, 그림 6의 서울시내 A노선의 경우 실제로 도로 주

행시험에서 측정된 결과 A노선 1회 주행에 소모된 전력량을 근거로 연료소모율을 산출한 결과는 0.7 [km/kWh]이었다. 따라서 본 논문에서는 주행시험에서 얻은 연료소모율을 기준으로 이산화탄소 배출량을 산출하였다.

3. 시험 결과

그림 5과 그림 6에서 나타낸 바와 같이 서울시내 A노선에서 전기 버스의 주행 패턴의 시뮬레이션 계산 결과는 SOC80%에서 출발하여 SOC67%에서 종료하기 까지 SOC13% 방전되어 연료소모율은 0.7 [km/kWh]이었으며, 실제 주행 시험 결과는 SOC82%에서 출발하여 SOC69%에서 종료하기 까지 SOC13%의 11.32[kWh]를 소모하여 연료소모율은 0.7[km/kWh]이었다. 그림 5와 6의 서울시 A노선 모드 주행에서의 시뮬레이션 계산결과와 실제 주행 시험 결과를 비교 및 검토 한 결과, 시뮬레이션으로 계산한 주행 결과와 실제 주행 시험결과가 일치함을 알 수 있었다. 따라서 제1절 (나)의 식 (1)을 이용하여 서울시내 A노선의 배출량을 계산하면 버스 1대 당 연간 122,577.57[kWh]의 전력이 필요하며, 이로 인한 CO₂배출량을 보면 52.05tCO₂eq임을 알 수 있었다.

4. 기대 효과

전기버스의 CO₂배출량 산출 근거에는 두 가지가 있는데 이들을 고려한 기대효과를 보면 다음과 같다. 하나는 소비전력량당 주행 거리(0.7km/kWh)을 기준으로 계산하는 방식이다. 다른 하나는 참고문헌^[7]에서 제시한 2015년 환경부의 “자동차 배출가스의 전 과정 평가(Life Cycle Analysis)”에 의한 방식이다. 순수 전기자동차의 주행 전, 석유채굴과 발전에서 발생하는 CO₂(g/km)량 64.1(g/km)을 적용하는 방식이다. 첫 번째 방식의 CO₂배출량은 연간 52.05tCO₂eq이므로 CNG대비 9.91tCO₂eq, 디젤 대비 10.08tCO₂eq가 저감된다. CNG버스의 CH₄ 저감량은 연간 0.64tCO₂eq이다. 두 번째 방식의 CO₂배출량은 연간 5.5tCO₂eq이므로 CNG대비 1년에 56.45 tCO₂eq가 저감된다. 현재 서울시에서 운행 중인 운행 중인 전기버스 143대를 첫 번째 방식을 적용하면 CNG 버스에 비해 CO₂배출량은 연간 약 1,417.13tCO₂eq이 저감된다. 두 번째 방식에서는 8,073tCO₂eq가 저감된다. CNG버스에서 배출되는 CH₄는 연간 159tCO₂eq가 줄어든다.

Table 3. Supply Planning of Electrical Buses in Seoul[8].

표 3. 서울시 전기버스 공급 계획[8]

Sortation	2020	2025	2035	2035	2036
Accumulated supply count	302	1,799	3,335	6,789	7,222
Annual supply count	156	302	302	693	433
Cumulative ratio	4.1	24.5	45.4	92.5	98.4

Table 4. Comparison of characteristics of electrical buses and internal combustion engines.

표 4. 내연기관과 전기버스의 특성 비교

Item	Electrical vehicles
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - No emissions, no noise, no vibration - Low operating cost(electrical charge) - Maintenance cost and parts consumption are low - Great vehicle performance(acceleration, climb) - Use as an energy storage system[V2G](There is a power supply function in case of power outage)
Weakness	<ul style="list-style-type: none"> - Vehicle price is high - 1 time range is limited - New charging infrastructure needs to be built - Battery should be replaced within the life of the vehicle
Item	Internal combustion engine
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - Low vehicle price - No need for separate infrastructure - Driving distance is not restricted - There is no limit to the clearance of the distribution
Weakness	<ul style="list-style-type: none"> - High operating costs(CNG, Diesel) - There are many emissions, noise and vibration - Maintenance costs(consumables, etc.) are high

표 3은 서울시의 전기버스 도입계획을 나타내고 있다. 표 3에서 나타낸바와 같이 2036년까지 서울시는 전기버스를 7,222대까지 도입한다는 계획이다. 따라서 대중교통 수단에 의한 배출가스 저감으로 인한 환경개선효과가 점차 증대할 것으로 기대된다. 표 4는 내연기관과 전기버스의 장단점을 비교한 것으로 전기버스 도입이 확대될 경우 차량의 가격은 비싸지만 반면에 배출가스 저감 뿐만이 아니라 차량의 소음과 진동 등의 감소로 시민들에게 쾌적한 교통 환경을 제공하는 것은 물론 유지비용의 절감도 기대할 수 있다.

III. 결론

도시의 대중교통수단은 버스가 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 내연기관의 배출가스가 대기오염을 유발하고 이를 줄이기 위해 수년간에 걸쳐 디젤 버스를 CNG버스로 교체하여왔다. 본 연구에서는 CNG버스의 배출가스 중 이산화탄소량을 분석하였다. CNG버스를 전기버스로 대체할 경우 그 효과를 알아보기 위해 실제로 서울의 전기버스 주행시험에서 연료소모율을 측정하였다. 전기버스의 주행거리와 연료소모율의 타당성을 검증하기 위해 실제노선의 주행을 통해 취득한 주행패턴을 적용한 시뮬레이션과 실제 측정 값을 비교하였으며, 그 결과는 거의 일치함을 보였다. 시험결과를 근거로 1(kWh)의 전력생산에 발생하는 이산화탄소 발생량과 CNG 버스에서 발생하는 값을 비교한 결과 차량 1대당 년 9.91tCO₂eq의 CO₂와 640kg의 CH₄가 저감되는 것으로 나타났다. 현재 서울에서 운행중인 전기버스 143대로 계산할 경우 계산하면 CNG 버스에 비해 CO₂ 배출량은 연간 약 1,417.13tCO₂eq(운행 전 8,073tCO₂ eq)저감되고, CNG버스에서 배출되는 CH₄는 년 159t CO₂eq가 각각 저감되는 효과가 있다. 전기버스는 보통 200(kWh)이상 400(kWh)용량의 배터리가 사용되고 있는데 차량을 운행하지 않을 때 V2G(Vehicle to Grid)기능에 의해 에너지저장장치(ESS)와 분산발전으로 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 전력수요 성수기에 피크부하 분산에도 활용이 가능하다. 전기버스의 보급 확대로 대기환경 개선뿐만 아니라 청정에너지원으로 태양광발전과 지능형전력망과 지능형 전력망을 연계한 무공해 교통시스템구축^[8]으로 배출가스와 전력문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Stefano Barsali et al, "Techniques to Control the Electricity Generation in a Series Hybrid Electric Vehicle," *IEEE Transactions on energy conversion*, Vol.17. No.2, pp.260-266, 2002.
DOI: 10.1109/TEC.2002.1009478
- [2] Mehrdad Ehsani et al, "Moden Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles," *CRE press*,

pp.239-276, 2018.

- [3] U. D. Choi et al, "Development of the Power Generator for Series Hybrid Electric Vehicle," *IFOST*, pp.447-450, 2006.

DOI: 10.1109/IFOST.2006.312354

- [4] I. S. Kang et al, "CNG distribution through environmental and economic evaluation of light and CNG buses Final Report on Policy Feasibility Study," *Ministry of Environment, Korea Institute for Environmental Policy Evaluation*, pp.57-90, 2012.

- [5] U. D. Choi, "Commercial Operation of Ultra Low Floor Electric Bus for Seoul City Route," *IEEE-VPPC*, 2012.

DOI: 10.1109/VPPC.2012.6422619

- [6] U. D. Choi et al, "Development of a Series Hybrid Electric Vehicle as Low-Floor City Transit Bus," *World Electric Vehicle Journal*, vol.3-ISSN-2032-6653-AVERE, pp.379-386, 2009.

DOI: 10.3390/wevj3020379

- [7] J. H. Go, H, K, Ki, S. M. Jeong, "Recent Trend of Environmentally Friendly Vehicle and Seoul Policy Directions," *The Seoul Institute*, pp.7-45, 2017.

- [8] "Bus Graphic," NEKO Publishing Co. Ltd. Japan, vol.21, 2014.

BIOGRAPHY

Byeong-Joo Choi (Member)



1981 : BS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University.
1983 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University.
1996 : PhD degree in Electrical Engineering, Kyushu University.

1982~1986 : Researcher, Hyundai Heavy Electric Co., Ltd.
1986~1997 : Senior Engineer, Korea Electro-technology Research Institute

1997~2009 : Associate Professor in Electrical Engineering, Sorabol College

2014~2018, 2020~Present : Industry-University Cooperation Concentration Professor in Electrical Engineering, Yeungnam University

Hae-Joong Na (Member)



2002 : BS degree in Textile
Engineering, Yeungnam University.
2004 : MS degree in Textile
Engineering, Yeungnam University.
2016 : PhD degree in Mechanical
Engineering, Yeungnam University

2004~2014 : Senior Researcher, Korea Machinery
Research Institute, Local Government, Gyeongbuk.
2016~2018 : Research Professor, Dongyang University.
2019~Present : Research Professor, Institute of industrial
Technology, Yeungnam University

Uk-Don Choi (Member)



1983 : BS degree in Electrical
Engineering, Yeungnam University.
1985 : MS degree in Electrical
Engineering, Yeungnam University.
2001 : PhD degree in Electrical
Engineering, Yeungnam University

1985~2014 : Principal Engineer, Hyundai Heavy Electric
Co., Ltd.
2015~2019 : Industry-University Cooperation Concentration
Professor in School of Electronic and Electrical
Engineering, Daegu Catholic University.
2019~Present : Adjunct Professor in School of Electronic
and Electrical Engineering, Daegu Catholic University.

Jong-Hae Kim (Member)



1996 : MS degree in Electrical
Engineering, Yeungnam University
1999 : PhD degree in Electrical
Engineering, Yeungnam University
2005 : PhD degree in Electrical
Engineering, Nagoya University

2005~2012 : Principal Engineer (Group leader), Samsung
Electro-Mechanics, Co., Ltd.
2012~Present : Associate Professor, School of Electronic
and Electrical Engineering, Daegu Catholic University