

소프트 타입과 하드타입 하이브리드자동차의 연비 및 배출가스 특성에 관한 연구

김종우^{1*}

¹인하공업전문대학 수송기계공학부 자동차과

Characteristics of fuel economy and emissions of soft and hard type hybrid vehicles

Jongwoo Kim^{1*}

¹Dept. of Automotive Engineering, Inha Technical College

요약 본 논문은 현재 출시되어 있는 소프트타입의 현대 아반테 하이브리드자동차와 하드타입 방식의 도요다 프리우스 자동차를 대상으로 차대 동력계상에서 CVS-75 모드를 주행하면서 발생하는 배출가스특성과 연비특성을 실험적으로 분석하였다. 가솔린 차량에 비해 하이브리드 차량의 연비 및 배출가스 특성이 탁월하였으며 특히, 하드타입의 하이브리드 차량이 소프트타입의 차량에 비해 연비개선효과가 우수하게 나타났다.

Abstract This paper describes the characteristics of emissions and fuel economy of soft type hybrid vehicle (Hyundai Avante) and hard type hybrid vehicle (Toyota, Prius) in a transient CVS-75 driving mode. Hybrid vehicles showed the better fuel economy and emission characteristics comparing the conventional gasoline vehicle. Especially, hard type hybrid vehicle showed the better fuel economy comparing soft type hybrid vehicle under 55 km/h periods in the CVS-75 mode.

Key Words : Soft type hybrid vehicle; hard type hybrid vehicle; CVS-75 mode; fuel consumption

1. 서론

최근 지구환경 오염과 에너지 고갈의 문제가 대두되고 있어 전 세계적으로 차세대 자동차 및 대체연료의 개발이 활발해지고 있다. 특히 자동차 배출가스 중 CO₂ 배출로 인한 지구 온난화 문제 해결과 관련하여, 가장 현실적으로 상용화에 접근되어 있는 것이 하이브리드 자동차이다. 일반적으로 하이브리드 자동차는 전기모터를 사용하여 차량의 제동에너지를 회수하고 운전조건에 따라 모터와 엔진을 최적으로 조합하여 운행을 하기 때문에 불필요한 연료소모를 줄여 고연비를 가능하게 하는 자동차를 말한다. 하이브리드 자동차는 작동 방식에 따라 Hard type과 Soft type으로 나눌 수 있다. Hard type의 하이브리드 자동차는 출발과 저속 주행시 모터만 작동하는 방

식으로 출발과 동시에 엔진이 작동하는 소프트 타입 방식에 비해 연비 및 배출가스 측면에서 유리한 것으로 알려져 있다^{[1]-[3]}. 그러나 이를 체계적으로 분석하기 위해서는 CVS-75 모드 구간별 특성을 상호 비교할 필요가 있다.

본 논문에서는 현재 출시되어 있는 소프트타입의 현대 아반테 하이브리드자동차와 하드타입 방식의 도요다 프리우스 자동차를 대상으로 차대 동력계 상에서 CVS-75 모드를 주행하면서 배출가스와 연비를 실시간으로 측정하여 그 특징을 비교 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 논문은 인하대 RIC 7차년도 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 김종우(jwkim@inhac.ac.kr)

접수일 11년 07월 29일 수정일 (1차 11년 08월 30일, 2차 11년 09월 08일, 3차 11년 09월 14일) 게재확정일 11년 10월 06일

본 연구를 위해 차대동력계(Chassis Dynamometer), 운전 보조 장치(Driver's Aid), 정용량 시료 채취장치(Constant Volume Sampler), HC, CO, NOx, CO₂ 분석기 등을 이용하여 실험을 수행하였다. 차대동력계 사양은 표 1과 같다.

[표 1] 차대동력계 제원

[Table 1] Chassis Dynamometer spec.

| Items | Specification |
|--------------------------|-----------------------|
| Roller type / diameter | Twin type / 8.65 inch |
| Power Absorption control | DC |
| Max. Power Absorption | 100 KW |
| Max. Inertia weight | 8,000 lbs |
| Max. speed | 160 km/hr |

모든 배출가스 시험 시 시험실내부의 온도, 습도 유지를 위해 온도는 25±1℃, 습도는 45±5 RH로 제어되었으며 전체 장치 구성은 그림. 1과 같다.

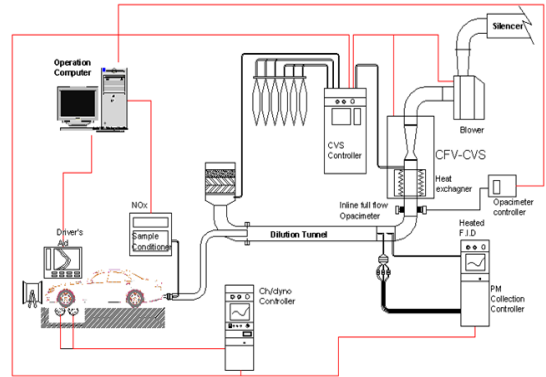
차대동력계(BEP사)는 DC 동력계로서 관성부여장치, 부하흡수장치, 제어장치 등으로 구성되어 있으며, 시험차량이 실도로를 주행할 때 받는 저항력 및 관성력을 차량에 부여할 수 있는 시뮬레이션 장치이다. 또한 운전 보조 장치는 운전자에게 규정된 시험 주행모드의 요구속도 및 현재의 주행속도를 나타내 줌으로서 운전자는 차량의 속도를 제어할 수 있다.

배출가스의 중량을 측정하기 위해, 시험차량의 운전 중 배출되는 배출가스와 시험실내 공기를 희석시켜 임계 벤튜리를 이용하여 희석 배출 가스량을 일정하게 통과시킬 수 있는 임계 벤튜리 타입의 정 용량 시료채취장치(P&K사)를 사용하였다. 자동차 배출가스 중 농도를 분석하기 위해 이플러스티사의 PEMS-100D를 사용하였다.

2.2 실험방법

본 시험 절차는 국내 배출가스 시험 기준인 CVS-75 Mode 절차에 준하여 진행되었지만, 엔진의 냉간 시 soaking과 차량 학습(preconditioning)에 의한 시험 오류를 줄이고자 cold soaking은 배제하고 차량이 충분히 워밍업이 되어 있는 상태로 시험을 수행하였다. 시험 차량의 워밍업 절차의 경우, 본 시험 전 CVS-75 Mode 시험인 경우 Phase 1을 수행하였으며, 이 때 냉각수의 온도는 80℃ 이상, sampling tube에서 측정된 배기가스 온도는 100℃ 이상임을 확인한 후 즉시 시험하였다. 차대동력계 제어장치에 등가관성중량과 도로 부하력 값을 각각 입력

한 후 Driver's aid의 pendant switch를 통해 시험 시작을 알림과 동시에 HC, CO, NOx값과 CO₂ 값을 실시간으로 측정하였다. 하이브리드 차량은 배터리를 완충한 상태에서 3회 시험 하였다[4]. 그림 1은 실험 장치도이다.



[그림 1] 실험 장치도

[Fig. 1] Experimental set-up

2.3 실험 차량

본 연구에서 사용한 실험차량은 도요다 프리우스(이하, 실험차 A), 아반테 LPI 하이브리드(이하, 실험차 B) 및 레간자 기술린 차량(이하, 실험차 C)이다. 자세한 차량제원은 표2와 같다.

[표 2] 실험 차량 제원

[Table 2] Test vehicles spec.

| | Prius Hybrid 3세대(A) | Avante Hybrid LPI(B) | Leganza MPI (C) |
|--------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| 엔진 형식 | In-line 4, VVTi, Gasoline | In-line 4, DOHC, LPG | In-line 4, DOHC, Gasoline |
| 배기량 (cc) | 1,798 | 1,591 | 1,799 |
| 최고 출력(ps) | 136(99E+ 82M) | 134(114E+ 20M) | 131 |
| 최대 토크 (kg.m) | 14.5 | 15.1 | 17.3 |
| T/M | e-CVT | AT4 | MT5 |

그림 2는 차량 시험 장면 사진이다.

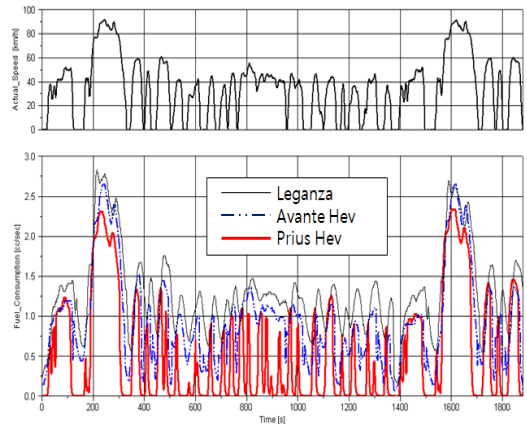


[그림 2] 차량 시험 장면
[Fig. 2] View of experiments

3. 결과 및 고찰

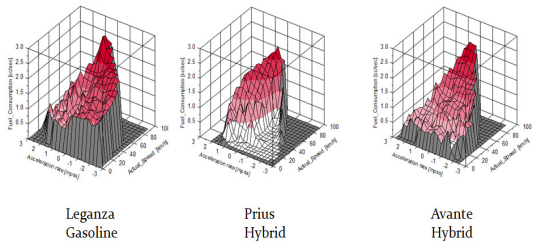
3.1 실시간 연료 소모율 측정 결과

그림 3은 3종류의 차량을 각각 CVS-75모드를 주행하면서 실시간으로 측정한 연료소모율 곡선이다. 전 운전영역에 걸쳐 실험차 C의 연료소모율이 가장 높고, 실험차 A의 연료소모율이 가장 적게 나타난다.



[그림 3] 연료소모율 비교
[Fig. 3] Comparisons of fuel consumption

이를 속도-가속도-연료소모율의 3차원 그래프로 표시하면 그림 4와 같다. 실험차 A의 경우 55 km/h 이하영역에서는 엔진은 작동하지 않고 모터만 작동하여 연료 소모율이 발생하지 않는 반면, 실험차 B 차량의 경우 연료 소모율이 적게 나타남을 알 수 있다.

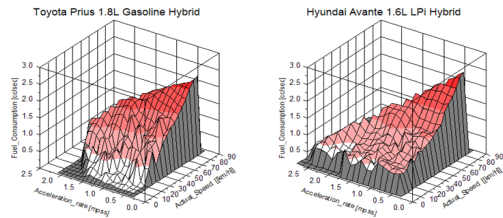


[그림 4] 연료소모율 비교
[Fig. 4] Comparison of fuel consumption with 3D

이는 실험차 B의 경우 병렬방식의 소프트타입 방식으로 차량출발과 함께 엔진이 작동하는 방식인데 반해, 실험차 A의 경우 혼합방식의 하드타입방식으로 55km/h 이하 영역에서는 엔진은 작동하지 않고 모터만 작동하는 방식이기 때문이다. 이를 가속, 정속, 감속 구간별로 비교하면 그림 5, 6, 7과 같다. 가속구간의 경우 하드타입방식인 실험차 A는 출력이 큰 모터(82 마력)를 사용하여 30km/h까지 모터 자체 출력으로 주행이 가능하여 소프트 타입방식인 실험차 B(20마력)에 비해 가속구간에서도 연료 소모가 26% 저감된다. 또한 하이브리드 차량에서도 엔진이 작동하는 고속 고부하(80 km/h 이상, 가속도 구배 2 이상) 조건에서도 모터마력이 4배 이상 큰 실험차 A가 실험차 B에 비해 엔진부하가 적게 걸려 연료소모율이

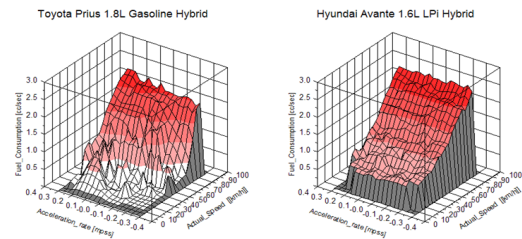
14.9% 낮게 나온다. 정속구간의 경우 하트타입의 실험차 A방식이 대략 55 km/h까지 모터 자체출력으로만 주행이 가능하여 항상 엔진이 작동하는 소프트타입의 실험차 B보다 연료소모율이 39% 저감 된다. 또한 감속구간 비교에서도 실험차 A의 경우 엔진이 정지하고 바퀴가 제너레이터를 작동시키는 회생제동력 작동 영역이 실험차 B보다 넓어 연비개선효과가 98% 향상됨을 실험결과를 통해 알 수 있다.

Acceleration Driving Fuel Consumption Status in FTP-75 mode



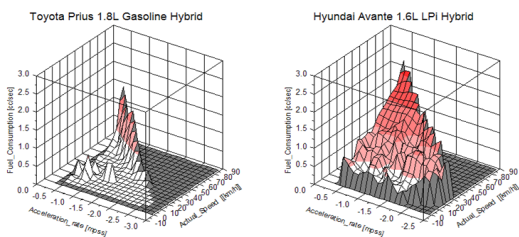
[그림 5] 가속 구간별 연료소모율 비교
[Fig. 5] Comparison of fuel consumption at acceleration periods

Cruise Driving Fuel Consumption Status in FTP-75 mode



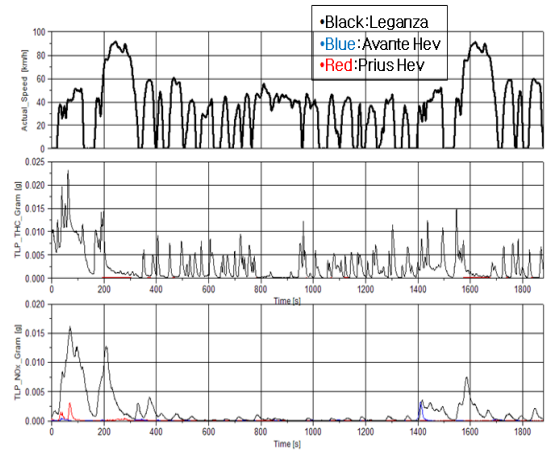
[그림 6] 정속 구간별 연료소모율 비교
[Fig. 6] Comparison of fuel consumption at steady state periods

Deceleration Driving Fuel Consumption Status in FTP-75 mode



[그림 7] 감속 구간별 연료소모율 비교
[Fig. 7] Comparison of fuel consumption at deceleration periods

그림 8은 CVS-75모드를 주행하면서 측정한 HC, NO_x 배출가스 특성비교이다. 하이브리드차인 실험차 A, B 모두 가솔린차인 실험차 C에 비해 극히 적게 배출됨을 알 수 있다. 이는 하이브리드 차량들은 전 운전 영역에서 공연비제어를 이론공연비로 제어하여 삼원촉매장치의 정화효율이 극대화 되는 반면, 가솔린 차량은 가속 시와 감속 시 공연비제어를 농후하게 제어 할 수밖에 없어 배출가스가 상대적으로 많이 배출되는 것으로 판단된다. 특히 실험차 B의 경우 배출가스가 실험차 A에 비해 더 적게 배출되는데 이는 실험차 B의 경우 액체 연료인 가솔린보다 연소가 잘되어 유해 배기가스가 적게 배출되는 LPG 연료를 사용했기 때문으로 판단된다.



[그림 8] 배출가스 특성 비교
[Fig. 8] Comparison of emission characteristics

표3은 CVS-75 모드 주행 후 산출된 배출가스 및 연비 실험 결과이다. 55km/h 이하 영역에서 모터만 작동하는 하트타입방식의 프리우스가 감속과 엔진 정지만 엔진이 꺼지는 소프트타입 방식의 아반떼에 비해 연비개선효과가 77% 우수함을 알 수 있다.

[표 3] 배출가스 및 연비 실험 결과
[Table 3] Test results summary

| | HC | CO | NO _x | CO ₂ | F/E |
|------------------|--------|-------|-----------------|-----------------|--------|
| | [g/km] | | | | [km/l] |
| Prius Hybrid | 0.006 | 0.010 | 0.004 | 98.7 | 23.72 |
| Avante Hybrid | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 135.8 | 13.40 |
| Leganza Gasoline | 0.279 | 0.953 | 0.118 | 263.2 | 8.79 |

4. 결론

하드타입의 하이브리드차, 소프트 타입의 하이브리드차 및 가솔린차에 대해 CVS-75 모드 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하드타입의 프리우스가 소프트 타입인 아반떼에 비해 가속구간의 경우 연료소모율이 26% 저감되었다. 이는 출력이 큰 모터(82 마력)를 사용하여 30km/h까지 모터 자체 출력으로 주행이 가능하기 때문이다.
2. 정속구간의 경우 하드타입의 프리우스가 55 km/h까지 모터 자체출력으로만 주행이 가능하여 항상 엔진이 작동하는 소프트타입의 아반떼보다 연료소모율이 39% 저감되었다.
3. 감속구간의 경우 프리우스가 엔진이 정지하고 바퀴가 제너레이터를 작동시키는 회생제동력 작동 영역이 아반떼보다 넓어 연료소모율이 98% 저감되었다.
4. CVS-75 모드 주행 연비 실험 결과 하드타입의 프리우스가 소프트타입의 아반떼에 비해 평균 연비가 77% 우수하게 나타났다.
5. 배출가스 특성은 가솔린차량에 비해 하이브리드 차량 모두에서 극히 낮게 배출됨을 알 수 있었다. 이는 하이브리드 차량들은 전 운전 영역에서 공연비 제어를 이론공연비로 제어하여 삼원촉매장치의 정화효율이 극대화 되는 반면, 가솔린 차량은 가속 시와 감속 시 공연비제어를 농후하게 제어 할 수밖에 없어 배출가스가 상대적으로 많이 배출되는 것으로 판단된다. 또한 아반떼 하이브리드의 경우 연소가 잘되는 LPG 연료를 사용했기 때문에 가솔린을 연료를 사용하는 프리우스에 비해 유해 배기가스가 적게 배출되었다.

"Comparative study of Hybrid power train strategies"
SAE Future Transportation Technology Conference, 2001

- [4] YM Woo etal, "A Standardization of Fuel economy test procedure of Hybrid electric vehicle" Spring Conference of Korean Society of Mechanical Engineers, pp 1748-1753, 2006

김종우(Kim Jongwoo)

[정회원]



- 1988년 12월 : University of Michigan, NA&ME (공학석사)
- 2000년 1월 : Imperial College, Mechanical Engineering (공학박사)
- 1989년 3월 ~ 2001년 2월 : 대우자동차 기술연구소 선임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 수송기계공학부 교수

<관심분야>

내연기관, 자동차배출가스 및 연비 시험 및 해석

References

- [1] D.H.Choi, H.S.Kim, "An operation algorithm for a 2 shaft parrel type hybrid electric vehicle for optimal fuel economy", Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, Vol 9, NO.5, pp. 122-130, 2001.
- [2] Cho sungtae etal, "Fuel economy optimization of Hybrid vehicle using single performance Index" Spring conference of Korean society of mechanical Engineers, pp 552-557, 2001
- [3] Jim Walters, Harry Husted Kaushik Rajashekara,