

현대 FFV(Flexible Fuel Vehicle) 개발

Research and Development of Hyundai FFVs(Flexible Fuel Vehicles)

명 차 리,* 이 시 훈*, 신 영 기*, 박 광 서*, 박 심 수**
C.L.Myung, S.H.Lee, Y.G.Shin, K.S.Park, S.S.Park

ABSTRACT

This paper describes Hyundai's research and development work on a flexible fuel vehicle (FFV). The work on FFV has been conducted to evaluate its potential as an alternative to the conventional gasoline vehicle. Hyundai FFV described here can be operated on M85, gasoline, or any of their combinations, in which the methanol concentration is measured by an electrostatic type fuel sensor. For that operation, a special FFV ECU(Electronic Control Unit) has been developed and incorporated in the FFV.

The characteristics affecting FFV operation, such as FFV ECU control strategy and injector flow rate, have been investigated and optimized through the experiments. And various development tests have been performed in view of engine performance, durability, cold startability, and exhaust emissions reduction. The exhaust gas aftertreatment system consisting of manifold type catalyst and secondary air injection system shows good emission reduction performance including formaldehyde, and finally, the possibility of the FFVs as the low emission vehicles is evaluated by presenting NMOG(Non-Methane Organic Gases) levels with respect to M0 and M85. With these results, it is concluded that FFV can be a candidate for the low emission vehicles, but more works on its durability improvement is required.

Key words : FFV(Flexible Fuel Vehicle), Fuel Sensor, MCC(Manifold type Catalytic Converter), Cold Start Injector, Secondary Air Injection System, Formaldehyde, NMOG(Non-Methane Organic Gases)

1. 서 론

석유자원의 고갈과 날로 심각해지는 배기 가스규제에 대비한 저공해 대체연료 중 메탄

올은 공급가능성의 측면과 연소시 배출되는 배기 가스의 청정성으로 인해 일찍부터 많은 주목을 받아온 자동차용 대체연료이다. 특히 메탄올은 가솔린과 같은 액체상이므로 기존차량에 큰

* 현대자동차 마북리 연구소

** 정희원, 현대자동차 마북리 연구소

변경없이 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그러나 메탄올 전용차량의 현실적 도입에 있어서는 전국적 규모의 연료보급망 확충이 선행되어야 하므로 많은 시설투자 및 시간이 소요되며, 공해가 특히 심한 일부 대도시 지역에서 메탄올과 같은 저공해차량의 운행가능성이 대두됨에 따라 메탄올차량 보급 이전의 단계로서 Mo (gasoline), M 85 (85% methanol + 15% gasoline in volume) 및 두 연료사이의 임의 혼합비율에서도 연료탱크 중의 메탄올함량을 연료센서로 감지하여 운전시 필요한 연료량과 점화시기 등을 최적으로 선택하여 주행할 수 있는 FFV(Flexible Fuel Vehicle)에 대한 연구개발이 활발히 수행되어 실용화 단계에 이르고 있다.^{1,2,3)}

이 논문은 FFV개발시 행해진 엔진성능 및 내구시험평가와 냉시동성 개선 실험결과를 기술하고 있다. 그리고 배기저감 system 적용에 따른 가솔린 및 M85 연료의 NMOG (Non-Methane Organic Gases) 배출수준을 기술하여 FFV의 저공해 자동차로서의 가능성을 평가하였다.

2. 시험차량 및 배기가스 분석

2.1 시험차량

Table 1은 Hyundai Scoupe FFV 제원을 나타낸 것이다. Fig.1에 제작차량의 외관을,

Fig.2에 차량 구조 변경도를 나타내었다.

메탄올연료와 메탄올연소시 발생하는 연소생성물의 강한 부식특성으로 인한 과도한 부식마모를 방지하기 위해 연료공급계통 및 윤활유 접촉부위의 재질변경과 표면처리를 통하

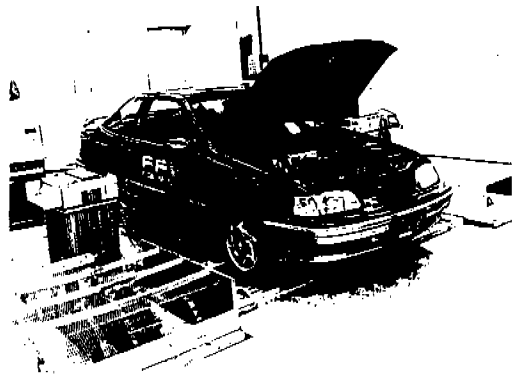


Fig.1 External appearance of FFV

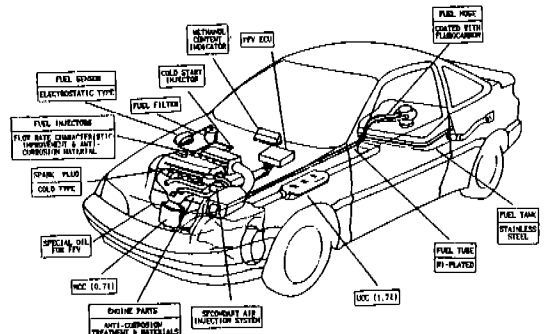


Fig.2 Modifications of FFV

Table 1. Specifications of Hyundai Scoupe FFV

VEHICLE	
Model	1991 MY Scoupe
Transmission	4-Speed Automatic
ENGINE	
Displacement	1.5 l N/A
Compression ratio	10 : 1
Fuel supply	Multi Point Fuel Injection System
Fuel	Mo (gasoline) to M85
Exhaust emissions aftertreatment	Manifold and Under-floor Catalyst with Secondary Air Injecton System
Fuel sensor	Electrostatic Type
Oil	Special Oil for FFV(10W 30)

여 이를 최소화 하였다. 연료탱크의 재질은 스테인레스로 변경하였고, 연료파이프에는 니켈도금을 하였다. 또한 연료와 연료증기가 직접 접촉하는 부위의 연료호스는 내부를 불소코팅재질로 변경하였다. 이를 통해 호스의 팽윤을 최소화하고 증발 emission 을 제어하게 된다. 재질변경과 병행하여 엔진부식과 마모를 방지하기 위해 기존 윤활유와 비교하여 산중화능 및 내마모능을 개선시킨 FFV 전용 윤활유를 적용하였고 금속부분의 표면처리를 통해 내부식성을 향상시켰다.

연료센서는 연료중의 메탄올함량을 결정하는 핵심부품으로 광학식(optical type)과 정전용량식(electrostatic type)의 두 종류가 있으며, 각각에 대한 센서 정밀도 및 응답성 등의 평가실험을 행하였다. 센서성능은 두 종류 모두 큰 차이가 없지만 유체의 굴절률을 측정하는 광학식은 장기간 사용시 가솔린의 방향족성분에 의해 영향을 받게되는 단점이 있는 반면, 정전용량식은 유체의 유전율을 측정하는 단순한 구조와 우수한 내구성을 갖고 있으므로 본 실험에서는 정전용량식을 적용하였다. 이 연료센서를 이용하여 연료탱크중의 메탄올함량을 감지, 임의의 메탄올농도에 대해서도 최적의 연료량과 점화시기를 선택하여 주행할 수 있는 FFV용 ECU 를 개발하였다.

2.2 배기가스분석

메탄올연소시 배출되는 HC 성분중의 미연메탄올과 포름알데하이드성분의 분석을 위해 GC (Gas Chromatography)와 HPLC(High Performance Liquid Chromatography)를 사용하였다.^{4,5,6)}

미연메탄올성분 분석을 위해 CVS (Constant Volume Sampler) tunnel로부터 일정량의 희석배기가스를 약 110°C로 가열된 teflon sampling line 을 통해 채집한다. 이 sample gas 를 deionized water 를 담고 있는 glass impinger 에 통과시키고 이 흡수용액을 FID 를 이용한 GC 로 분석하게 된다.

포름알데하이드성분은 DNPH(2, 4-dinitro-phenylhydrazine) 방법을 이용하여 결정된다. 약 110°C로 가열된 heated teflon sampling line 을 통해 CVS tunnel 로부터 일정량의 희석배기가스를 채집한다. 이 sample gas 를 DNPH용액과 perchloric acid 를 담고 있는 glass impinger 에 통과시켜 흡수된 용액을 UV-Detector 를 이용한 HPLC 로 분석하게 된다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 엔진성능

Fig.3은 FFV의 전부하상태하에서 Mo, M85 연료에 대한 출력, 토크 및 제동연료소모율을 나타낸 것이다. 점화시기는 MBT (Minimum spark advance for Best Torque)인 경우로 이때 최대출력은 M85의 경우가 가솔린에 비해 약 6% 정도 상승한다. 출력상승의 원인으로 높은 열효율과 흡입공기 단위체적당 M85 연료의 높은 발열량에 기인한다. 저속운전영역에서 토크의 증가는 고속역보다는 다소 저하되는데 이는 메탄올기화시

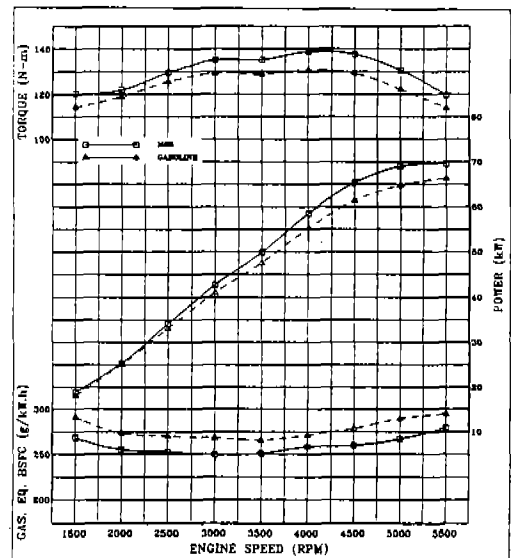


Fig.3 Full load engine performance

체적팽창이 커짐에 따라 흡입공기의 충전효율 감소에 따른 것이다. M85 연료의 연료소모율은 가솔린에 대한 등가발열량으로 환산한 경우, 가솔린에 비해 약 5.5% 정도 낮아지게 된다.

3. 2 엔진내구성평가

Ichimiya 등²⁾은 “Toyota cold mode”를 개발하여 메탄올엔진의 마모기구를 설명하였다. 메탄올엔진의 마모는 (1)가솔린에 비해 상대적으로 다량의 연료가 분사되어 윤활막을 씻어내게 되므로 윤활막과피를 초래, 윤활부에 마모를 조장하게 되고, (2)메탄올 연소생성물중의 수분과 formic acid 성분이 금속표면과 윤활유의 부식과 회석을 야기시키는데 따른 것이다.

Ichimiya 와 비슷한 실험모드를 Scoup FFV 내구실험에 적용하여 개발엔진의 재질적합성 여부를 평가하였다.³⁾ Fig.4는 실험모드를 나타낸 것으로 엔진 warm-up 중의 윤활부 마모수준평가를 목표로 한 것이다. 실험은 M85 와 가솔린 두연료에 대해 행하였고 내구시험 완료후 엔진을 분해했을 때 M85연료의 경우 크랭크축, 캠축, 실린더라이너 등이 심하게 부식되었음을 발견할 수 있었다. 그러나 가솔린의 경우 윤활부의 상태는 양호한 수준으로 평가되었다.

Fig.5는 cold mode 실험중, 12시간 간격으로 채집한 오일의 Fe 성분을 분석한 것으로 M85 연료의 마모율은 가솔린의 수배에 달하고 있음을 알 수 있다. 따라서 메탄올엔진의 저온마모능 개선을 위해 전용 윤활유의 적용 및 윤활부품의 표면처리, 재질변경이 수행되어야 할 것이다.

3. 3 냉시동성평가

FFV 실용화의 중요한 관건인 M85 연료의 냉시동성은 메탄올연료의 낮은 증기압과 높은 기화잠열에 따른 열악한 냉시동특성으로 인하여 연료중에 포함된 15%의 가솔린성분에 전적으로 의존하게 되며, 따라서 냉시동시 가

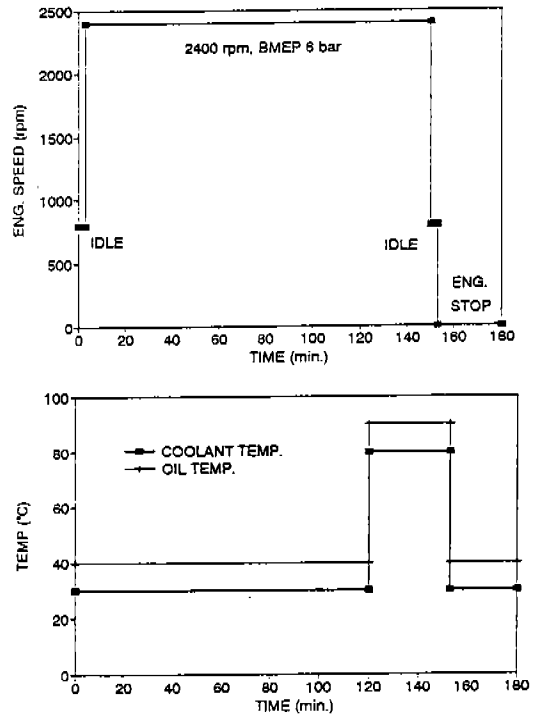


Fig.4 Test code of cold mode durability test

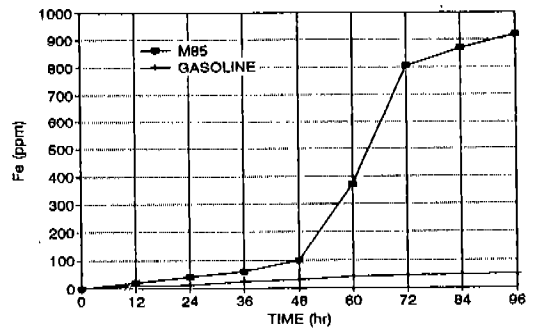


Fig.5 Wear rates comparison of iron component

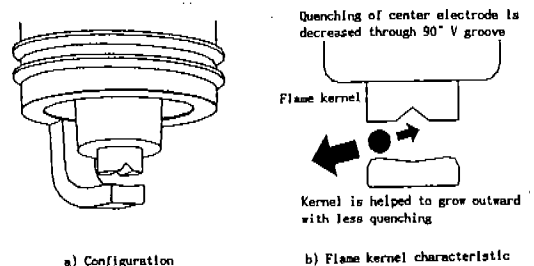


Fig.6 V-grooved spark plug configuration

슬린 전용엔진에 비하여 상대적으로 많은 양의 연료가 증량되어야 한다.

M85 연료의 냉시동성개선을 위해서는 연료 증량의 제어기술외에도 V-grooved type 의 점화플러그⁸⁾와 cold start injector 의 장착이 제안²⁾되었다. Fig.6에 점화플러그의 형상과 화염전파 원리가 설명되어 있는데, gap size 가 1.0mm 인 V-grooved 점화플러그는 M85 엔진의 냉시동시 점화력 향상과 점화플러그의 wetting 방지에 우수한 성능을 발휘하여 수동변속기가 장착된 엔진에서 약 5°C의 냉시동성개선이 확인되었다. 또한 연료기화를 위한 보다 많은 시간을 확보하고 port injector 의 과다한 연료분사로 인한 점화플러그의 wetting 을 방지하기 위하여 제안된 cold start injector는 각 실린더로의 혼합기 유입을 균일하게 함과 동시에 가급적 긴 연료이송경로를 확보하기 위하여 서지탱크 (surge tank)의 중앙에 장착하였다. 본 FFV 엔진의 냉시동시험에 사용된 M85연료는 RVP (Reid Vapor Pressure) 66 kPa 과 74 kPa 의 2종으로서 후자는 RVP 98kPa의 겨울용 가솔린과 공업용 메탄올을 혼합하여 제작하였다.

Fig.7은 각각의 연료와 cold start injector 장착 여부에 따른 M85 연료의 냉시동시험결과를 나타내고 있다. 모든 경우에 있어서 시동실패는 엔진이 스타터의 도움없이 자력으로 회전가능한 완폭기간 이후 after start stall 을 수반하게 되며 이는 온도저하에 따른 연료기화량 부족으로 인한 엔진 출력감소에 따른 것이다. 이때 연료의 RVP 증가와 cold start injector 의 장착은 모두 냉시동 성능을 개선시키며, RVP 74kPa의 M85 연료와 cold start injector 가 사용될 경우 시동가능 최저온도는 대략 -21°C였다.

3.4 배기가스 저감시험

Fig.8은 배기저감시스템을 나타낸 것이다. 냉각수 및 윤활유 온도가 낮은 엔진의 초기 시동시에는 불충분한 연료의 기화를 고려하여

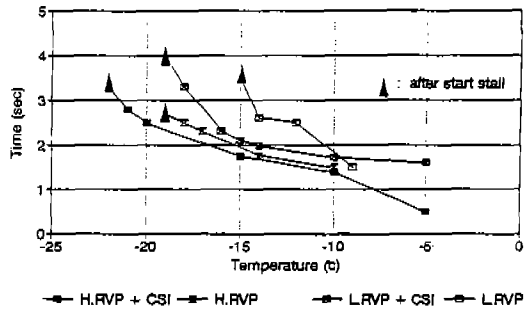


Fig.7 Cold start test result with M85

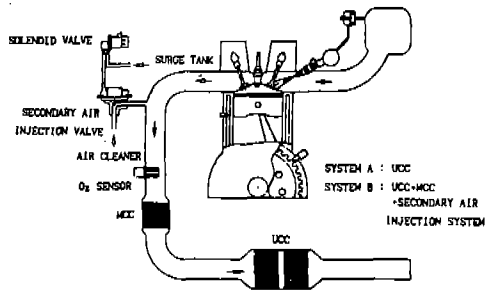


Fig.8 Schematic diagram of exhaust emissions reduction system

상대적으로 다량의 연료를 분사하게 되므로 많은 양의 미연연료가 촉매활성화 온도에 도달하지 못한 상태에서 정확없이 배출되어 emission에 악영향을 미치게 된다. 이를 해결하기 위해 배기관의 맥동현상을 이용하여 부족한 공기를 주입하는 이차공기 주입시스템을 적용하여 미연가스의 산화능을 향상시키고 이에 따른 MCC (Manifold type Catalytic Converter)의 조기활성화 특성을 이용하여 미연연료를 효과적으로 정화하는 시스템을 적용하였다. 이차공기주입시스템의 작동시간은 LA-4 모드 주행시험을 통해 결정하였고 냉각수온도를 이용하여 ECU에서 조절한다. 시험에 적용한 MCC는 촉매의 조기활성화를 고려하여 UCC (Under-floor type Catalytic Converter)와 직렬로 장착하였고 포름알데하이드성분 저감을 위해 귀금속함량을 증가시켰다.

Fig.9는 LA-4C/T (Cold Transient) 구간동안 UCC만의 경우와 MCC, 2차공기주입

시스템을 적용한 경우 HC_{FID} 배출수준을 나타낸 것이다. 그림에서 빗금친 부분이 HC 감소율을 나타내고 있으며, 첫번째 peak 이후 이차공기주입에 의한 MCC의 조기활성화로 HC가 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다.

Fig.10은 포름알데하이드 배출수준을 나타낸 것이다. 포름알데하이드 성분은 특히 메탄

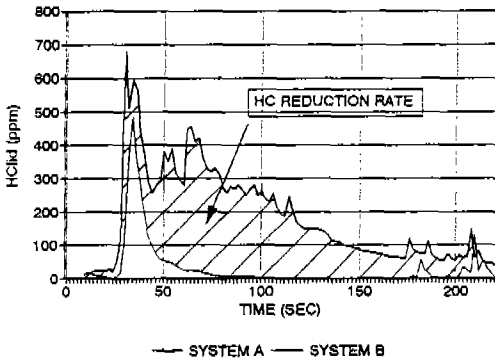


Fig.9 HC_{FID} reduction level with M85

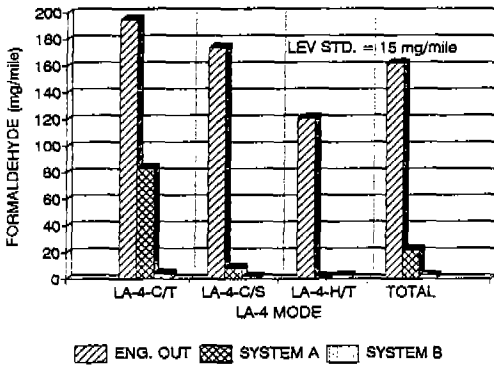


Fig.10 Formaldehyde emissions level with M85

올의 부분산화에 의해 생성되는 불안정한 중간생성물로 이차공기주입과 MCC 적용에 따라 생성율이 현저히 감소하고 있음을 알 수 있다.

Table 3은 FFV 배기 시험 결과를 나타낸 것이다. CO와 NO_x 배출물수준은 두연료 모두 큰 차이가 없으나, 포름알데하이드 성분은 M85로 주행시, 가솔린에 비해 약 2~3배 정도 높음을 알 수 있다. M85와 같은 함산소 연료(oxygenated fuel)의 경우, HC 성분은 GC, HPLC를 이용해 측정된 NMOG (Measured Non-Methane Organic Gas = NMHC + CH₃OH + HCHO)에 M85 연료의 ozone reactivity를 고려한 RAF (Reactivity Adjustment Factor = 0.41)를 곱한 값으로 규제된다.⁹⁾ RAF를 고려하여 M85 연료사용시 NMOG 배출수준은 0.017g/mile로 주행거리 증가에 따른 촉매열화를 고려하여도 '97년부터 적용될 LEV (Low Emission Vehicle) 규제치를 만족하고 있음을 알 수 있다.

Fuel economy는 M85 연료의 발열량이 가솔린에 비해 적으므로 약 65% 수준에 달하고 있음을 알 수 있다.

Fig.11은 시스템 변경에 따른 NMOG 배출량을 나타낸 것으로 M85 연료의 경우 분자량이 큰 미연메탄올성분이 HC 배출물의 대부분을 차지하므로 시동초기의 미연메탄올 성분 저감에 많은 노력을 기울여야 한다.

Table 3 Exhaust emissions and fuel economy of FFV (fresh catalyst)
Test condition : LA-4 MODE (g/mile)

Fuels / Emissions and F. E	Regulated Nmog* (Measured Nmog)	HCHO	CO	NO _x	F. E (mile/gal)
M 85	0.017(0.042)	0.005	0.370	0.140	17.0
Mo	0.067	0.002	0.390	0.140	26.0
LEV STD.(@50k)	0.075	0.015	3.400	0.200	-

* Measured NMOG = NMHC + Methanol + Formaldehyde
Regulated NMOG = Measured NMOG × RAF (0.41)

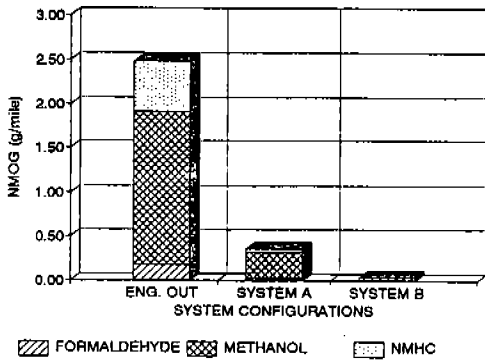


Fig.11 NMOG emissions level

4. 결 론

FFV는 M85, MO 혹은 두연료의 임의 혼합비에 대해서도 연료중의 메탄올함량을 연료센서로 감지하여 운전에 필요한 연료량과 점화시기 등을 최적으로 선택하여 주행가능하며 엔진성능, 엔진내구성, 냉시동성 및 배기가스저감시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 엔진최대출력은 M85 연료의 경우 가솔린에 비해 약 6% 정도 증가된다.

2) M85 연료를 이용하여 cold mode test를 수행한 결과 엔진윤활부 및 윤활유 접촉 부위에 심한 부식 및 마모현상이 관찰되었으며, 저온에서의 내구성개선을 위한 지속적인 노력이 요구된다.

3) M85 연료의 열악한 냉시동성개선을 위해 cold start injector 및 V-grooved 점화플러그를 이용하여 -21°C 까지 시동이 가능하였다.

4) FFV M85 연료 주행시 배출되는 다량의 미연메탄올과 포름알데하이드성분은 촉매활성화온도 도달에 대부분이 배출되며 이의 저감을 위해 MCC 및 이차공기주입 시스템을 적용하였다. 포름알데하이드 배출수준은 가솔린의 약 3배에 달하며 저공해자동차의 판단척도가 되는 규제 NMOG는 0.017g/mile로 FFV의 저공해자동차로서의 실용가능성을 확인할 수 있었다.

5) FFV M85연료 주행시 fule economy는 가솔린의 약 65% 수준에 달한다.

메탄올차량의 실용화를 위해서는 포름알데하이드 저감을 포함 냉시동성개선과 엔진부품의 내구성이 검증되어야 하며 차량주행을 통한 촉매 및 이차공기주입 시스템의 내구성 평가가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Hiroto Nishida and Takahiro Yata, et al, "Performance and Exhaust Emissions of Nissan FFV NX Coupe," SAE Paper No.920299, 1992.
- Muneyoshi Namba and Takaneo Yokoyama, et al, "Development of Mitsubishi Flexible Fuel Vehicle," SAE Paper No.910861, 1991.
- Y.G. Shin, S.S. Hwang and H.S. Lee, "A Feasibility Study for a Flexible Fuel Vehicle," IX International Symposium on Alcohol Fuels, 1991.
- The Code of Federal Regulations, "Emission Standards for Methanol-Fueled Motor Vehicles and Engines," EPA 40 CFR Part 86, 19991.
- CARB, "Procedure for the Analysis of Automotive Exhaust for Formaldehyde and Other Carbonyl compounds," SOP No. MLD 104, 1989.
- C.L. Myung, S.S. Hwang and H.S. Lee, "Unburned Methanol and Formaldehyde Emission Measurements from Methanol-Flexible Fuel Vehicle(FFV)," VI IPC Paper No.912557, 1991.
- T. Ichimiya, K. Takahashi and Y. Fuwa, "Wear Mechanisms of Methanol Fueled Engines," SAE Paper No.852199, 1985.
- 이시훈, 신영기, 황상순, "메탄올(M85) 엔진의 냉시동성 개선을 위한 실험적 연구," 자동차 공학회 14-4호, 1992.
- CARB, "Title 13-The Calculation and Use of Reactivity Adjustment Factors for Low Emission Vehicles," CARB Mail-Out #91-43, 1991.