

## GDI 엔진에 DCT 적용에 따른 배기 배출물 특성에 미치는 영향

김광래\* · 노현구†

### The Effect of Dual Clutch Transmissions on the Stability Emissions Characteristic in a Gasoline Direct Injection Engine

Kwang Lae Kim and Hyun Gu Roh

**Key Words:** Dual Clutch Transmissions(듀얼 클러치 변속기), GDI(Gasoline Direct Injection: 가솔린 직접 분사식), Emission characteristics(배기 특성), Combustion characteristics(연소 특성)

#### Abstract

This paper described the effect of dual clutch transmissions on the stability emissions characteristic in a GDI engine at vehicle Inspection and Maintenance(I/M) program. In order to investigate the influence of direct injection gasoline engine with DCT, the experimental apparatus consisted of GDI engine with 4 cylinder, dynamometer and exhaust emissions analyzer. Analyzed emission gas include CO, HC and NOx results that DCT vehicle in the case of NOx, HC in automatic transmission vehicles less than 1/2 level was confirmed to be exhausted. However vehicle specific power increases CO also has increased.

#### 기호설명

$v$  : Speed [KPH]  
 $a$  : Acceleration [KPH/s]  
 $r$  : Roadgrade [%]  
VSP : Vehicle Specific Power [kW]  
DCT : Dual Clutch Transmissions  
AT : Automatic Transmissions

#### 1. 서 론

최근 자동차 산업의 기술개발 트렌드는 친환경자동차

와 지능형 자동차의 기술개발이 주를 이루고 있으나 지구온난화에 대한 대응으로 CO<sub>2</sub> 배출 저감과 연비향상을 위한 환경규제법규가 점차 강화되고 있다.

또한 세계 각국에서는 친환경자동차의 개발이 활발히 추진하고 있고 각국은 자국의 구체적인 연비달성 및 배출가스저감 목표를 설정하여 적극적인 기술개발을 정부에서 유도하고 있으며 그에 맞추어 각 완성차 메이커들은 연구개발을 추진하고 있다.

특히 자동차 기술 개발은 전 세계적으로 더불어 자동차의 연비개선, 배출가스 저감, 안정성 향상 등 많은 분야별로 연구가 진행되고 있으며 특히 자동차 파워트레인(엔진+변속기)은 연비 및 배기가스 저감에 영향을 미치므로 이에 대한 기술개발이 활발히 추진되고 있다<sup>(1)</sup>.

연비향상 및 배출가스 저감을 위해서는 차량 전체시스템을 개선해야 하는데 첨단 구동계 및 변속기 시스템에서 충족할 수 있다. 따라서 연비향상을 위한 고효율 변속기의 기술 개발의 필요성이 강조되고 있으며, 완성차 업체 및 변속기 전문 생산업체는 고효율 변속기의 기술 경쟁력 확보 및 우위 기술선점을 위한 제품 개발

(Received: 25 Aug 2015, Received in revised form: 29 Sep 2015, Accepted: 30 Sep 2015)

\*인덕대학교 기계자동차학과

†책임저자, 인덕대학교 기계자동차학과

E-mail : hgroh@induk.ac.kr

TEL : (02)950-7548 FAX : (02)950-7559

Table 1 Important feature of Transmissions

변속기 종류	주요 특징	장 점	단 점
수동 변속기 (MTM)	운전자가 직접 엔진의 회전수, 차량속도, 차량소음 발생 정도에 따라 변속단수를 결정하고, 변속조작과 동시에 동력차단장치인 클러치를 조작하여 변속을 구현하도록 하는 장치	▷구조가 단순하고 제작비 낮음 ▷연비가 뛰어나	▷클러치 · 레버 조작이 불편
자동 변속기 (ATM)	운전상황(속도, 구동력, 부하 등)에 따라 최적으로 변속단이 자동으로 변속되는 변속기	▷클러치 · 레버 · 조작 없이 사용이 편함	▷구조가 복잡하고 제작비 높음 ▷연비가 나쁨
무단 변속기 (CVT)	차량의 주행조건에 따라 금속벨트와 원주형 폴리로 구성된 무단변속부의 금속벨트와 폴리간의 접촉반경을 변화시켜 무단계로 변속한다. (운전자 조작은 자동변속기와 동일함)	▷연비가 탁월함	▷급 가속 때 밀리는 현상 ▷제작비가 높음
더블클러치변속기 (DCT)	2개의 클러치를 통해 수동변속기의 변속 단을 번갈아 연결하면서 동력 전달됨(운전자 조작은 자동변속기와 동일함).	▷연비가 뛰어나고 수동변속기와 유사한 스포티 운전이 가능하다.	▷개발비 높다 ▷첨단 기술이 필요

에 적극적으로 추진하고 있다. 최근 들어 중소형 자동차를 중심으로 듀얼 클러치 변속기 적용이 확대되면서 연비 성능이 가장 뛰어난 고효율 변속기이므로 자동변속기 수요의 상당부분을 대체하리라 전망되고 다단화가 동시에 진행되고 있다.

2000년 초에 승용자동차는 4단 자동변속기를 탑재했고, 5단 자동변속기는 고급 차종에나 장착되었으나, 지금은 8단 자동변속기를 장착한 차량까지 출시되었다. 최근 독일의 자동차 부품 전문업체 ZF사는 세계 최초로 9단 자동 변속기를 개발하였고, 연비는 기존의 6단 변속기대비 16%가 향상되었다. 다단화와 아울러 모든 메이저 완성차업체는 듀얼 클러치 변속기를 적용한 차량을 출시하였거나 준비중이며 Table 1과 같이 변속기 사양에 따른 주요 특징을 기술하였다. 이렇게 동일한 자동차에서 변속기의 사양에 따라 배출가스 저감 효과를 차량의 비출력을 기준으로 유해배출특성에 대해서 실험적으로 분석하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에 적용된 자동차의 엔진은 직접 분사식 기술린엔진으로 배기량은 1.6L, 4기통 GDI 엔진과 듀얼 클러치 변속기(Dual clutch transmission)가 적용된 차량으로 실험을 수행하였으며 차량 제원은 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications of test engine and DCT

Engine type	4-stroke GDI Gasoline
Number of cylinder	4
Bore × stroke (mm)	77 × 85.44
Displacement volume(cc)	1,591
Valve type	DOHC 4 valve per cylinder
Compression ratio	11.0
Steps of ignition	1-3-4-2
Max. Power (PS/rpm)	140 / 6,300
Max. Torque(kg·m/rpm)	17 / 4,850
Transmission type	D6GF1
Transmission structure	3 Shaft and 6th
Torque capacity(kg·m)	28

로 실험을 수행하였으며 차량 제원은 Table 2와 같다.

실험 장치는 차대 동력계, 배기 분석 장치를 구성하였으며 실험 장치의 개략도와 실험 사진을 Fig. 1과 같으며 정밀검사용 배기 분석 장치의 제원은 Table 3과 같다.



Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus and test picture

2.2 실험 방법

본 연구에서는 운행차 정밀검사 모드의 운전 조건과 실제 주행 조건과는 다르므로 많은 조건에 따라 배출가스를 분석하기란 어려운 상황이다. 따라서 배출가스 분석을 위해서는 오염물질과 상관성을 갖는 비출력을 이용한 분석에 있어 효과적인 분석이 가능한 것으로 알려

져 있으며 다음 식으로 정의하여 비교하였다<sup>(2-5)</sup>.

$$VSP = 0.278v \left[ 0.305a + 9.81 \left( \sin \left( \text{atan} \left( \frac{r}{100} \right) \right) \right) + 0.132 \right] + 0.0000065v^3$$

정밀검사 사용되는 검사 모드는 Acceleration Simulation Mode ASM-2525인 가속 모사 모드이다. 이 정밀검사 모드는 차량의 열간 상태로 차대 동력계상에서 40 KPH로 정속 주행을 하면서 배출되는 배기가스 중 CO, HC, NOx 및 CO2의 농도를 측정한다. 소형차 정밀검사 모드에서 도로 부하 25%에 상응한 저항을 차대동력계의 톨러에 가함으로써 자동차는 정속 상태인 40KPH로 주행함에도 불구하고 가속을 하는 것과 같은 효과를 얻도록 구성되어 있으며 이때 오염물질을 GDI 엔진에 DCT 적용에 따른 배기 배출물 특성에 미치는 영향에 대해서 실험적으로 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 1.6 GDI AT 적용에 따른 배기가스 특성

Figure 2는 1.6 GDI 자동변속기 적용 차량에서의 배기가스 특성 그래프로 X축은 차량의 비출력으로 3kW 단위로 6~24까지를 구분하였으며 Y축은 배출가스 항목 별로 표시한 것이다.

Figure 2(a)는 CO 배출가스의 그래프로 비출력이 증가할수록 CO도 동시에 증가하는 특성을 보이고 있다. 그러나 18, 21에서는 비슷하게 배출되는 것을 볼 수 있다. Fig. 2(b)는 HC 그래프로 약 80~100 ppm 사이로 배출되는 특성을 보이고 있다. 특히 비출력에 따른 “~” 모양의 배출 특성을 보이며 비출력 9 kW부터 21 kW까지는 증가하는 특성을 보이다 24 kW에서는 감소하는 특

Table 3. Required specification of vehicle exhaust gas analyzer for the I/M Program

Pollutants	CO/CO <sub>2</sub>	HC	NOx
Principle	NDIR	NDIR	NDIR, NDUV or Electro-Chemical sensor
Unit	%	ppm	ppm
Range	CO: 0.01~10% CO <sub>2</sub> : 0.01~16%	1~over 10,000 ppm	1~over 5,000 ppm
Resolution	0.01%	1 ppm	1 ppm
Detection limit	0.01%	1 ppm	1 ppm

성을 보이고 있다. 24 kW의 경우 본 실험 차량의 최대 출력의 약 1/4 수준의 정속 주행 모드로 주행됨에 따라 감소된 것으로 사료된다. Fig. 2(c)는 NOx 배출 특성 그래프로 비출력이 증가함에 따라 NOx도 같이 증가하는 특성을 보이고 있다. 이는 비출력이 증가함은 엔진 출력을 높이기 위한 것이며 엔진 출력 향상을 위해서는 점화시기를 전진시켜 엔진의 출력을 향상시킴에 따라 엔진의 연소 기간 확대 및 연소 압력이 상승되어 비출력

증가에 따른 NOx의 배출량이 증가한 것으로 판단된다. Fig. 2(d)는 비출력에 따른 HC와 CO 배출 특성 동시에 살펴보기 위한 그래프로 X축은 비출력, 왼쪽 Y축은 CO(막대), 오른쪽 Y축은 HC(꺾인선) 그래프이다. (a)와 (b)에서 설명하였듯이 CO는 출력 증가에 따른 동시에 증가하나 HC는 배출량은 큰 변화 없이 유지되는 것으로 판단된다.

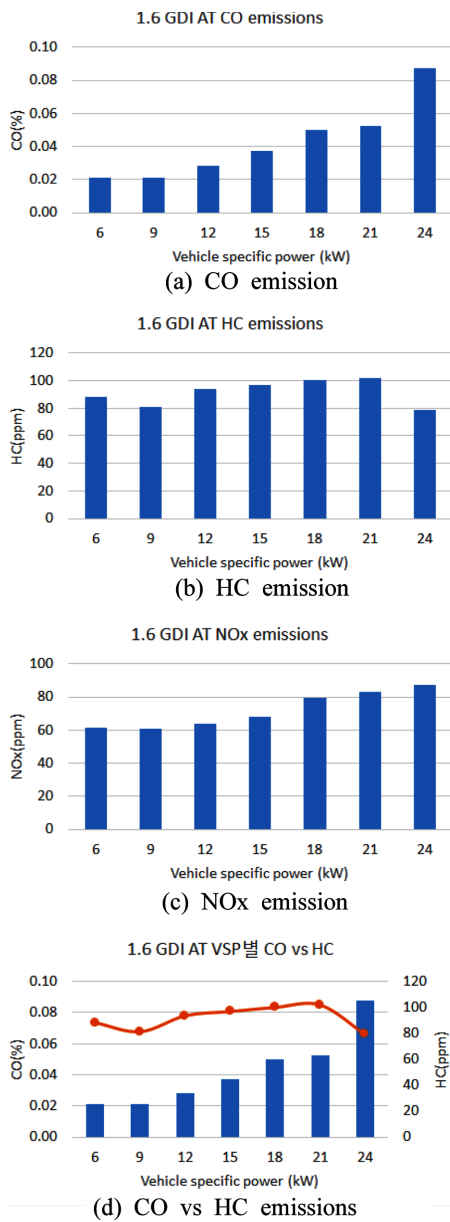


Fig. 2 Effect of 1.6 GDI AT VSP on exhaust emissions

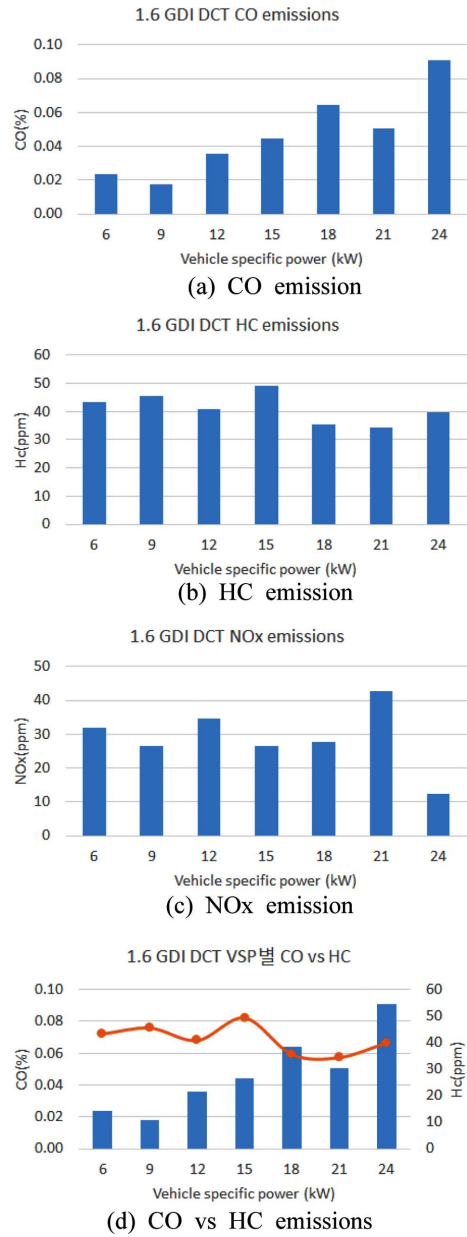


Fig. 3 Effect of 1.6 GDI DCT VSP on exhaust emissions

3.2 1.6 GDI DCT 적용에 따른 배기가스 특성

Figure 3는 1.6 GDI DCT 적용 차량에서의 배기가스 특성 그래프로 X축은 차량의 비출력, Y축은 배출가스 항목별로 표시한 것이다.

Figure 3(a)는 CO 배출가스의 그래프로 비출력이 증가할수록 CO도 동시에 증가하다가 21 kW에서는 감소 후 다시 증가하는 특성을 보이고 있다. Fig. 2(a)에서도 감소는 되지 않았으나 비슷한 경향을 보이는 패턴이 나오는 것으로 보아 비출력 21 kW부근에서 변속기 내부에서 변속이 되어 감소한 것으로 사료된다. Fig. 3(b), (c)는 HC, NOx 그래프로 두 개의 배출가스 모두 약 50 ppm 이하의 낮은 배출 특성을 보이고 있다. Fig. 3(d)는 비출력에 따른 HC와 CO 배출 특성 동시에 살펴보기 위한 그래프로 X축은 비출력, 왼쪽 Y축은 CO(막대), 오른쪽 Y축은 HC(격인선) 그래프이다. 자동변속기 차량에서 나타났듯이 CO는 출력 증가에 따른 동시에 증가하나 HC는 배출량

은 큰 변화 없이 유지되는 것으로 판단된다.

3.3 변속기 사양 변경에 따른 배기가스 특성

Figure 4는 1.6 GDI AT 차량과 DCT 적용 차량에 대해서 배기가스 특성을 비교한 그래프로 X축은 차량의 비출력으로 Y축은 배출가스 항목별로 표시한 것이다.

Figure 4(a)는 CO 그래프로 두 차량 모두 비슷한 량과 패턴을 보이고 있다. 그러나 Fig. 4(b), (c)의 경우 자동변속기 차량대비 약 1/2 수준으로 감소됨을 볼 수 있다. 이는 DCT 자동차의 경우 변속기가 수동 변속기와 동일한 내부구조를 가지고 있어 주행시의 부하 측면에서 자동변속기 차량에 비해 유리한 것으로 사료된다. 특히 자동변속기의 경우 저속 구간의 경우 주행 부하뿐 아니라 변속기 내부의 유압을 형성 및 유지를 위해서 지속적인 오일펌프 구동 등 여러 가지 조건이 DCT에 비해 불리할 것으로 판단된다.

4. 결 론

GDI 기술된 엔진에 자동변속기와 듀얼 클러치 변속기를 적용에 따른 배기 배출물 특성을 실험한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) DCT 차량에서 HC, NOx의 경우 자동변속기 차량 대비 1/2 수준으로 적게 배출되는 것이 확인되었다.
- 2) DCT, 자동변속기 적용 차량 모두 CO 배출가스는 비출력이 증가할수록 동시에 증가하는 특성이 확인되었다.
- 3) 비출력에 따른 HC와 CO 배출 특성에서 CO는 출력 증가에 따른 동시에 증가하나 HC 배출량은 큰 변화 없이 유지되는 것이 확인되었다.

후 기

본 연구는 인덕대학교 연구 지원으로 수행한 연구결과이며 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Kabjin Yang, Changhoon Lee and Byungchul Na, "Development of Low-friction, Low-leakage of hydraulic control system for Dual Clutch Transmission[DCT]", KSAE 2014 Annual Conference, pp. 421-425, 2014.

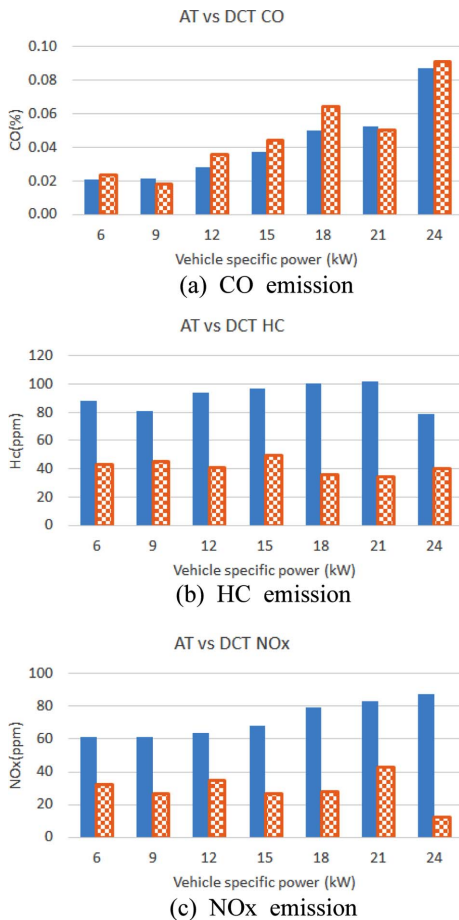


Fig. 4 Effect of DCT on exhaust emissions

- (2) Frey, H.C., Unal, A., Chen, J., Li, S., and Xuan, C. Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-scale Motor Vehicle & Equipment Emission System; EPA420-R-02-02; Prepared by North Carolina State University for Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency: Ann Arbor, MI, 2002.
- (3) Nam, E. K. Proof of Concept Investigation for the Physical Emissions Estimator (PERE) for MOVES, EPA420-R-03-005, prepared by Ford Research and Advanced Engineering for Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, EPA, February, 2003.
- (4) Jimenez-Palacios, J.L. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1999.
- (5) H. Christopher Freya and Kaishan Zhangb, "Implications of Measured In-Use Light Duty Gasoline Vehicle Emissions for Emission Inventory Development at High Spatial and Temporal Resolution" 16th annual international emission inventory, 2007, epa.gov.