

5속 A/T용 자동변속기 토크컨버터 댐퍼클러치 슬립제어가 슬립율과 연비에 미치는 영향

이 기 수^{*1)} · 김 덕 중¹⁾ · 김 현 철¹⁾ · 나 병 철¹⁾ · 허 형 석¹⁾ · 이 호 길¹⁾ · 장 재 덕²⁾

자동차부품연구원¹⁾ · 한국파워트레인(주)²⁾

Effect of Slip-Controlled Torque Converter Damper Clutch in 5-Speed Automatic Transmission on Slip Rate and Fuel Economy

Geesoo Lee^{*1)} · Deokjung Kim¹⁾ · Hyunchul Kim¹⁾ · Byungchul Na¹⁾ ·
Hyungseok Heo¹⁾ · Hogil Lee¹⁾ · Jaeduk Jang²⁾

¹⁾Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan 330-912, Korea

²⁾Korea Powertrain Co. Ltd, 597-10 Daechun-dong, Dalseo-gu, Daegu 704-801, Korea

(Received 22 September 2008 / Accepted 26 December 2008)

Abstract : The objective of this paper was to investigate the slip rate and the slip frequency number of damper clutch of torque converter in 2.4L passenger vehicle with 5-speed A/T and analyze the effect of slip control and control strategy on driving characteristics and the fuel economy. The newly developed torque converter with the more durable wet friction material and the slip-controlled damper clutch system, the DCC system, was installed, which was easily compatible and amendable of the lock-up clutch of the base system. The vehicle has been tested on the fuel economy modes such as FTP-75, HWFET and NEDC (ECE15+EUDC) driving cycle at chassis dynamometer. The DCC mode (II), of which the control strategy had both the lock-up and the slip-controlled clutch, and the DCC mode (I) with full slip-controlled clutch were compared with the base system with only the lock-up clutch. As the research result, comparison to base system, the fuel consumption of the vehicle with the DCC control (II) was effectively improved by 6.6% and 7.7% on FTP-75 and NEDC mode.

Key words : Torque converter(토크컨버터), Slip-controlled damper clutch(댐퍼클러치 슬립제어), Lock-up clutch(직결클러치), Slip rate(슬립율), Slip frequency number(슬립빈도수), Engine load ratio(엔진부하비), Fuel economy mode(연비 모드)

Nomenclature

L : load ratio, rev/min/V
 N : rotational speed, rev/min
 V : vehicle speed, km/h
 TR : time rate, %

Subscripts

E : engine or pump
 fr : frequency number
 S : slip
 T : turbine

1. 서 론

자동변속기용 토크컨버터(Torque Converter)는

*Corresponding author, E-mail: gslee@katech.re.kr

엔진의 동력을 자동변속기로 전달해 주는 동력전달, 토크증배 기능과 직결클러치(Lock-Up Clutch) 기능을 포함하고 있어 그 특성에 따라 차량의 동력 성능과 연비에 매우 중요한 영향을 주고 있는 자동변속기 차량의 핵심부품이다. Fig. 1은 토크컨버터를 나타낸 그림으로 자동변속기에 요구되는 신뢰성, 빠른 응답성, 부드러움, 구동력 특성 등 종합적인 성능이 요구되고 있다.¹⁾

1990년대 중반 이후 에너지 효율향상에 대한 사회적 관심과 소비자의 요구증대 그리고 차량 전자제어 시스템이 본격적으로 도입되면서 토크컨버터에 장착된 댐퍼클러치 슬립제어를 통한 연비 및 주행성능 향상에 연구개발을 집중하고 있다. 독일 ZF사의 Jauch (1999)는 댐퍼클러치에 슬립제어를 적용함으로써 직결클러치와 비교해 3% 주행시간 효과를 얻었으며,²⁾ 일본의 Toyota 사의 Ochi 등(2006)은 토크컨버터 형상 최적화와 차량 출발 시점부터 댐퍼클러치 슬립제어를 통해 4.4% 가속 및 12.0%의 연비향상이라는 연구 결과를 발표하였다.³⁾ 국내 현대기아자동차의 Kim 등(2006)은 4속 자동변속기 차량의 직결영역 변화에 대한 연비 분석 결과, 직결클러치 영역을 확대함으로써 2.7%의 연비향상을 얻었다.⁴⁾ 최근에 Kim 등(2008)은 5속 자동변속기 토크컨버터 댐퍼클러치 슬립제어가 주행 특성에 미치는 연구 결과를 소개하였다.⁵⁾ 토크컨버터 슬립제어는 차량의 운전성과 연비에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 보다 효과적인 댐퍼클러치 슬립제어를 위해서는 슬립제어뿐만 아니라 슬립제어 전략에 따른 슬립율 및 연비 특성에 대한 선행 연구가 필요하다.

본 논문에서는 2.4L 5속 자동변속기용 토크컨

버터 댐퍼클러치 슬립제어에 따른 슬립율과 슬립빈도수를 분석하고 댐퍼클러치 슬립제어와 슬립제어 전략이 주행성능과 연비에 미치는 영향을 살펴보고 있다.

2. 시험 장치 및 시험 방법

2.1 시험장치

2.1.1 대상차량 및 댐퍼클러치 슬립제어 시스템

댐퍼클러치 슬립제어를 위한 대상차량은 2.4L 5속 자동변속기 차량이며 기본 사양은 Table 1과 같다. 대상차량은 4단 및 5단 고속 주행시 직결클러치 시스템을 사용하여 연비향상을 극대화 하고 있다. 대상차량에 댐퍼클러치 미소 슬립제어를 적용할 경우 슬립에 의해 많은 마찰열과 진동이 발생하게 되어 차량에 심각한 문제를 초래한다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해 댐퍼클러치 마찰재 내구성과 냉각효율을 개선하고 댐퍼성능을 크게 향상시킨 새로운 슬립제어용 토크컨버터를 개발하여 대상차량에 장착하였다.

Fig. 2는 토크컨버터 댐퍼클러치 미소 슬립제어를 위한 댐퍼클러치 슬립제어 시스템(DCC 시스템), 즉 Special TCU에 대한 개략도를 나타낸 그림으로 엔진부하비(Engine Load Ratio)에 따른 동력전달을 PID 제어하도록 되어 있다. 엔진부하비는 TPS에 대한 엔진회전수 비로 식 (1)과 같이 정의한다.

$$L_E = \frac{N_E - N_{Er}}{TPS - TPS_r} \times k \quad (1)$$

여기서, N_{Er} 과 TPS_r 는 엔진회전수와 TPS의 참조값으로 각각 800, 0.5이며, k 는 계인 상수로 0.0417이다. DCC 시스템은 댐퍼클러치 슬립제어 조건이 되면 기존 TCU의 변속제어 알고리즘은 그대로 유지시키면서 댐퍼클러치 유압제어를 위해 별도의 비례제어 솔레노이드 밸브로 유압을 제어함으로써 구현된다. 또한 댐퍼클러치 미소 슬립제어와 동시에 실시간으로 필요한 데이터를 측정하여 분석이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 슬립율($N_s = N_E - N_T$)은 엔진 회전수(N_E), 즉 토크컨버터 펌프회전수와 터빈 회전수(N_T)의 차로 정의되며 직결클러치 조건에서는 0이다.

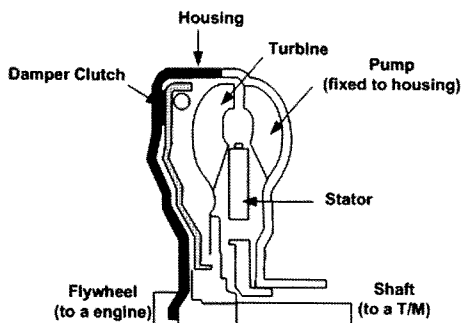


Fig. 1 Torque converter for automatic transmission

Table 1 Specification of test vehicle

Item	Value
Engine type	2.4L VVT gasoline
Engine displacement	2,359cc
Max. power	166ps@5,800rpm
Max. torque	23.0kg·m@4,250rpm
Transmission	5 A/T

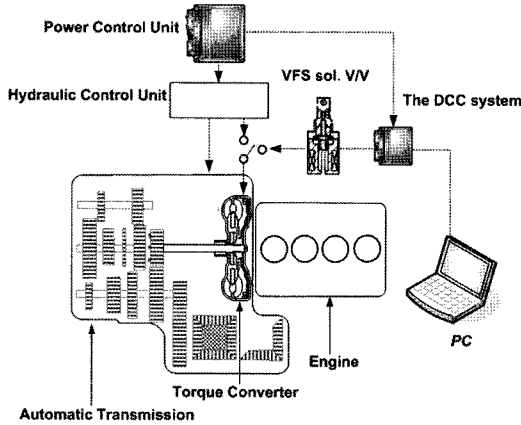


Fig. 2 Schematic diagram of damper clutch control system

2.1.2 차대동력계

DCC 시스템 적용에 따른 주행평가 및 연비 측정을 위한 대상차량 및 차대동력계 사진을 Fig. 3에 나타내었다. AVL 사의 차대동력계는 자동차의 도로 주행상태를 재현하기 위해서 부하 흡수장치와 관성 중량을 재현하기 위한 플라이휠로 구성되어있으며 배출가스 시료 채취 장치는 자동차의 배출가스의 실제 배출가스 량을 측정할 수 있도록 설계되어 연속적으로 일정한 유량의 시료를 채취한다.

2.2 시험방법

2.2.1 연비 측정 모드

차대동력계를 이용한 주행평가 및 연비 측정은 FTP-75, HWFET 그리고 NEDC (ECE15+EUDC) 모드에 따라 각각 2회씩 진행했다. FTP-75 모드는 예비주행을 수행한 차량을 25°C에서 12 시간 이상 온향습 시킨 후 시험을 진행하였다. 냉간 시동(Phase I)에서 차량 평균속도는 40.4 km/h, 주행시간은 505 초이며 고온 안정화단계(Phase II)에서는 차량 평균속도가 25.6 km/h, 주행시간은 867 초이다. 10분간

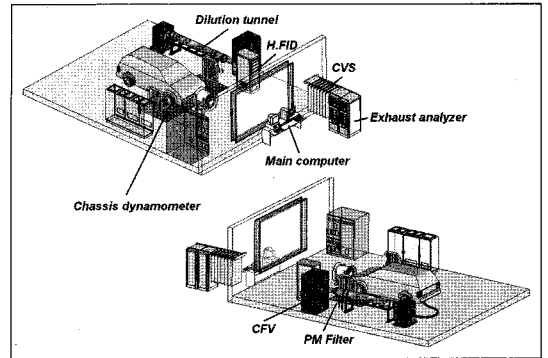
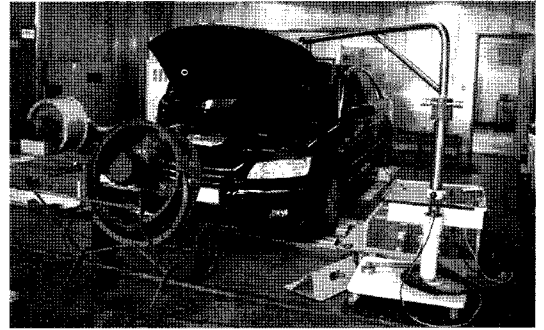


Fig. 3 Experimental facility of chassis dynamometer

차량을 상온 25°C에서 방치시킨 후 냉간시동과 같은 운전모드인 Phase III의 시험을 다시 진행한다. HWFET 모드는 시험시간이 765 초이며, 총 주행거리는 16.45 km, 평균속도는 77.7 km/h이다. 첫 번째 사이클은 차량의 워업(Warm-up)을 위한 사이클이며, 차량이 충분히 워업이 이루어진 두 번째 사이클 부터 측정한다. ECE15와 EUDC로 구성된 NEDC 모드는 총 주행거리가 약 11.0 km이며, 총 모드 주행시간은 1,220 초이다. ECE15 모드는 820 초, EUDC 모드는 400 초로 구성되어 있다.

2.2.2 DCC 시스템 제어모드

대상차량에 DCC 시스템 적용을 위한 제어조건 및 전략을 Table 2에 나타내었다. 높은 엔진부하 조건에서 DCC 시스템이 작동할 경우 차량 진동특성에 불리하므로 차량속도 20 km/h, 엔진회전수 1,200 rpm 이상에서 맴퍼클러치 슬립제어를 하도록 설정하였다. 슬립제어 전략은 4단 및 5단에서 조건 만족 시 직결클러치만을 사용하는 기존시스템, 기어 1단에서 5단까지 모두 맴퍼클러치 슬립제어를 하는 DCC 모드(I) 그리고 기어 1단에서 3단은 DCC 모드

Table 2 DCC mode and control strategy on driving cycle

		The base system	The DCC mode (I)	The DCC mode (II)
V (km/h)		-	20	20
N_E (rev/min)		-	1,200	1,200
gear	2 nd , 3 rd	-	Slip control	Slip control
	4 th , 5 th	lock-up	Slip control	Lock-up

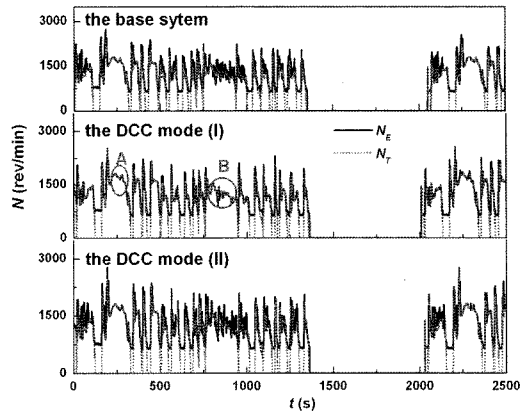
(I)과 동일하게 슬립제어하고 4단 및 5단은 기존 차량의 직결클러치를 사용하는 DCC 모드(II)로 구분하였다. 각 주행모드에서 DCC 제어모드에 대한 배출가스 특성은 고려하지 않았다.

3. 결과 및 고찰

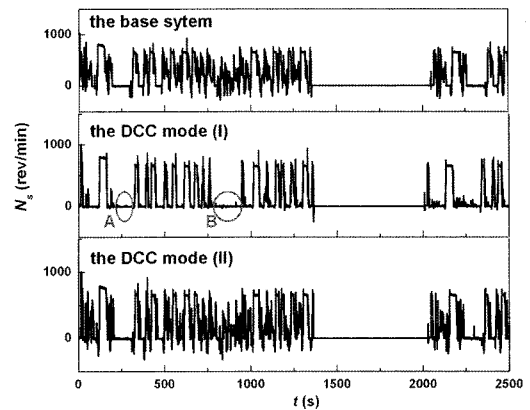
3.1 주행 및 연비 특성

기존시스템에 대한 주행 성능 평가로부터 각 기어단수에 대한 작동시간 비율을 Table 3에 정리하였다. 댐퍼클러치 슬립제어를 하지 않은 기존시스템의 경우, FTP-75 모드에서 3단과 4단으로 주행하는 구간이 전체 주행 구간의 약 61.3%, HWFET 모드는 5단이 약 90.0%, NEDC 모드에서는 4단과 5단이 약 47.9%를 차지하고 있다. DCC 시스템 작동 조건인 차속 20 km/h 이상, 엔진회전수 1,200 rpm 이상인 점을 고려할 때 기어 2단에서의 댐퍼클러치 슬립제어 영향은 작을 것으로 예측된다. 그러나 3단에서의 슬립제어 그리고 4단 및 5단에서의 슬립제어와 직결클러치에 대한 효과는 매우 클 것으로 예측되기 때문에 이에 대한 적절한 제어전략 선택이 중요함을 알 수 있다.

Fig. 4는 FTP-75 모드에서 토크컨버터 구동축인 펌프 회전속도, 터빈 회전속도, 그리고 두 회전 속도 차인 슬립을 특성을 각 제어모드 별로 평가한 결과이다. 전체 운전 구간에서 최대 엔진회전수는 2,800



(a) Engine and turbine rpm (rev/min)



(b) Slip rate (rev/min)

Fig. 4 Driving characteristics of vehicle with damper clutch control on FTP-75 driving cycle

rpm이며 슬립율은 -150~800 rpm이다. 최대 슬립율은 주로 차량 가속, 감속 및 정지구간에서 발생하게 된다. 기존시스템 평가 결과 4단 및 5단에서의 직결영역은 전체 주행시간의 약 17.0%로 분석되었다. 전변속 구간을 제어영역에 포함하는 DCC 모드(I)에서는 Key Off 시간을 제외한 총 주행시간 대비 댐퍼클러치 슬립제어 작동 비율은 약 79.4%로 대부분 구간에서 슬립제어 된다. 댐퍼클러치 슬립제어 적용에 따른 슬립율도 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 기어 4단 및 5단에서 기존차량 제어를 하는 DCC 모드(II)에서는 DCC 모드(I)과 달리 직결클러치가 적용되어 기존시스템과 유사한 슬립율 특성을 보이고 있다. 그런데 기존차량의 직결클러치는 기어 4단과 5단에서 무조건 작동되지 않기 때문에 주행조건에 따라

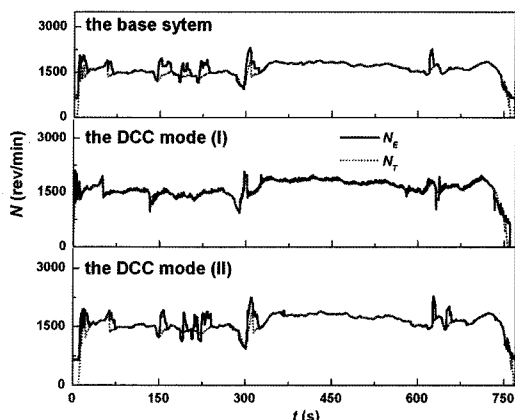
Table 3 The test result of operating time ratio on driving cycle

Gear	Operating time ratio(%)		
	FTP-75	HWFET	NEDC
1	20.43	1.75	26.29
2	4.12	0.27	6.95
3	20.6	0.59	18.82
4	40.67	7.17	17.87
5	14.16	90.22	30.06

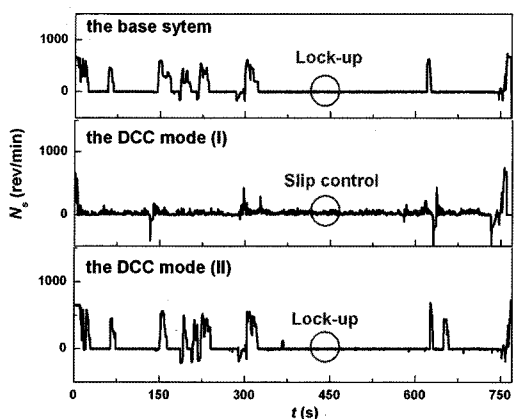
다른 특성을 보인다. 그림의 A구간을 살펴보면 DCC 모드(I) 적용 차량은 10 rpm 내외로 미소 슬립 제어가 적용되지만 기존시스템과 DCC 모드(II) 적용 차량은 5단 직결클러치에 의해 슬립율이 0이 된다. 이와 비교해 B구간에서는 DCC 모드 (I) 적용 차량은 A구간과 유사하게 미소 슬립제어가 되지만 기존시스템과 DCC 모드(II) 적용 차량은 직결클러치가 적용되지 않아 슬립이 발생하게 된다. 연비 측정 결과 DCC 모드(I)에서는 기존시스템 연비인 10.61 km/L에 비해 5.5%의 연비가 향상된 11.2 km/L을 얻었으며, DCC 모드(II)에서는 11.31 km/L 결과를 얻었다. 따라서 DCC 슬립제어에 따른 연비향상 가능성을 확인하였으며 DCC 모드(II)가 DCC 모드(I)에 비해 보다 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 5는 평균속도 77.7 km/h로 고속구간이 대부분인 HWFET 모드에서 주행 성능 평가를 나타낸 그림이다. HWFET 모드에서 엔진회전수는 1,500~1,800 rpm으로 운전되고 있으며 Fig. 5(b)의 슬립을 특성으로부터 직결클러치 적용 구간이 넓게 유지되고 있음을 알 수 있다. 기존시스템과 DCC 모드(II)의 슬립을 특성이 유사한 것은 일부 슬립발생이 기어 4 단 및 5 단에서 발생하는 것을 의미한다. DCC 모드(I) 적용 차량은 전 구간에서 슬립제어가 적용되므로 기존시스템 및 DCC 모드(II)에서의 보이는 슬립을 특성은 없어지고 전 주행 구간에서 60 rpm 이내로 슬립제어가 된다. FTP-75 모드와 달리 HWFET 모드에서는 DCC 모드(I)을 적용할 경우 연비가 기존시스템의 17.49 km/L 대비 5% 감소된 16.66 km/L로 악화되었다. 연비가 감소한 이유는 전체 주행시간의 약 68.7%를 차지하고 있는 4 및 5단의 직결클러치 구간에서 Fig. 5(b)와 같이 오히려 DCC 슬립제어에 의한 슬립을 발생으로 동력전달 손실이 발생했기 때문이다. DCC 모드(I)에서 슬립제어 작동 비율은 전 구간의 약 95.3%에 이른다. 댐퍼클러치 슬립제어에 대한 연비향상 효과와 직결클러치에 따른 동력 손실 저감을 모두 고려한 DCC 모드(II)는 기존시스템의 연비와 동등한 수준이다. HWFET 모드에서는 댐퍼클러치 슬립제어 보다는 기존시스템의 직결클러치를 사용하도록 제어전략을 수립하는 것이 바람직하다.

Fig. 6은 NEDC 모드에서 주행 성능 평가 결과로



(a) Engine and turbine rpm (rev/min)

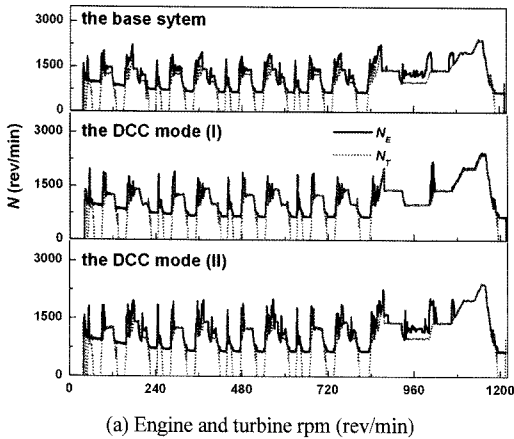


(b) Slip rate (rev/min)

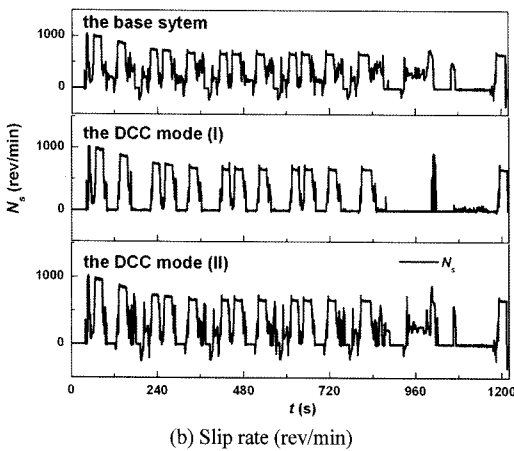
Fig. 5 Driving characteristics of vehicle with damper clutch control on HWFET driving cycle

슬립제어 및 슬립제어 전략에 따른 주행 특성은 FTP-75 모드 결과와 동일하다. 댐퍼클러치 슬립제어에 따른 연비는 기존시스템의 연비인 10.66 km/L에 비해 DCC 모드(I)에서 10.98 km/L로 약 3.0%, DCC 모드(II)에서 11.45 km/L로 약 7.4% 연비가 향상되었다. DCC 모드(I)은 댐퍼클러치 슬립제어에 따른 연비에 긍정적인 영향이 직결영역이 약 19.0%인 부분에서의 슬립으로 인한 동력 손실을 고려하더라도 연비향상에 유리한 것을 알 수 있다.

기존시스템과 DCC 슬립제어에 따른 각 주행 모드에서의 연비 측정 결과를 Table 4에 정리하였다. 그리고 DCC 슬립제어에 따른 대상차량의 최종연비 (Fuel Economy)는 FTP-75와 HWFET의 연비 측정 결과로부터 식 (2)을 이용하여 계산하였다.



(a) Engine and turbine rpm (rev/min)



(b) Slip rate (rev/min)

Fig. 6 Driving characteristics of vehicle with damper clutch control on NEDC driving cycle

Table 4 Test result of fuel consumption for DCC modes on driving cycle

Driving cycle mode	The base system		The DCC mode (I)		The DCC mode (II)	
	km/L	%	km/L	%	km/L	%
FTP-75	10.61	-	11.2	5.5	11.31	6.6
HWFET	17.49	-	16.66	-5.0	18.19	4.0
NEDC	10.66	-	10.98	3.0	11.45	7.4
Fuel economy	11.39	-	11.39	-	11.98	5.2

Fuel Economy (km/L) = $(FTP-75 \times 0.9) \times 0.55 + (HWFET \times 0.78) \times 0.45$ (2)

본 연구에서 개발 적용한 DCC 슬립제어 시스템의 최종 연비 분석 결과 DCC 모드(I)의 경우 기존 시스템과 동일하지만 DCC 모드(II)를 적용할 경우

5.2%의 연비향상 효과를 기대할 수 있다.

3.2 슬립율 및 빈도수 분석

Fig. 7은 Fig. 4~Fig. 6의 기존시스템에 대한 각 주행모드별 평가 결과 중 기어 5단 조건에서 엔진회전수에 대한 작동 빈도수를 분석한 그림이다. 기어 5단 작동 시간이 전체 주행시간의 대부분인 HWFET 모드에서는 엔진회전수가 1,400~1,900 rpm인 조건에서 빈도수가 5~25%로 높게 분포됨을 알 수 있다. FTP-75 모드와 NEDC 모드는 전 영역에서 2~4% 이내의 고른 분포를 보이고 있다.

Fig. 8은 FTP-75모드에서 DCC 모드(II)를 적용했을 때 엔진회전수에 대한 슬립율 특성을 살펴본 그림이다. 기어단수가 3단일 경우 기존시스템은 주행조건에 따라 슬립율이 최대 약 500 rpm까지 발생하

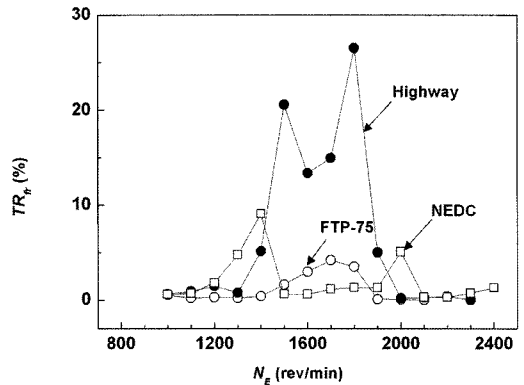


Fig. 7 Time ratio of frequency number at 5th gear for driving cycle

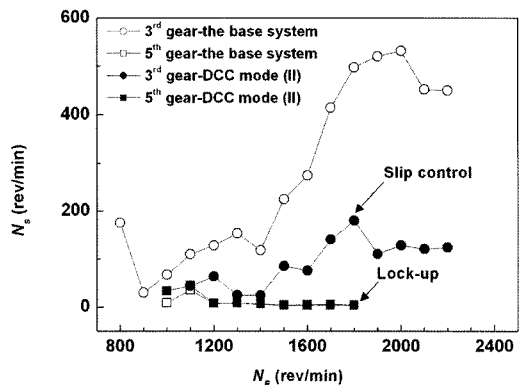


Fig. 8 Slip rate for engine rotational speed at FPF-75 driving cycle

지만 DCC 시스템이 작동할 경우 엔진부하비 조건에 따라 슬립율이 20~100 rpm 이내로 제어됨을 알 수 있다. 기어 5단에서는 기존시스템과 DCC 모드(II) 모두 직결클러치를 사용하기 때문에 엔진회전수 1,200 rpm 이상에서 슬립율이 0을 유지하게 된다. 엔진회전수별 작동 빈도수 결과로부터 연비 측면에서는 DCC 작동조건이 엔진회전수 1,200 rpm 이상이 적절함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 2.4L 5속 자동변속기용 토크컨버터의 댐퍼클러치 슬립제어에 따른 슬립율과 슬립빈도수를 분석하고 슬립제어 전략이 주행 및 연비향상에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구를 토대로 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 댐퍼클러치 마찰재와 댐퍼 성능을 향상시킨 토크컨버터를 차량에 장착하고 기존차량의 TCU는 그대로 유지하면서 슬립제어가 필요한 구간만 최소 변경할 수 있도록 DCC 시스템을 구성하였다.
- 2) 댐퍼클러치 슬립제어에 따른 슬립율과 슬립빈도수를 분석하기 위해 FTP-75, HWFET 그리고 NEDC 모드에서 평가를 수행하였다.
- 3) DCC 모드(II)를 적용했을 때, 직결클러치 적용비율이 17.0%인 FTP-75 모드와 19.0%인 NEDC 모드에서 각각 6.6%, 7.4%의 연비향상을 확인하였다. 또한 직결영역이 전 구간의 68.7%를 차지하고 있는 HWFET 구간에서도 기존 차량의 직결클러치 시스템을 효과적으로 이용함으로써 동등수준의 연비를 확보할 수 있었다. 그리고 DCC 시스템 적용 차량의 최종 연비 분석 결과 DCC 모드(I)의 경우 기존시스템과 동일하지만 DCC 모드(II)를 적용할 경우 5.2%의 연비향상 효과를 기대할 수 있다.
- 4) 각 기어단수별 슬립율 결과로부터 DCC 작동조건은 엔진회전수 1,200 rpm 이상이 적절함을 알

수 있으며 DCC 모드(II)를 적용했을 때 기어단수는 3단에서는 슬립율이 20~100 rpm 이내로 제어됨을 알 수 있다.

- 5) 향후, 토크컨버터 댐퍼클러치 슬립제어는 연비향상을 기대할 수 있으나 차량 NVH 특성에 불리하므로 이에 대한 추가적인 평가가 필요하다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단이 지원하는 에너지 효율 향상 사업의 일환으로 수행되었다. 도움을 주신 관계자 여러분께 감사하는 바이다.

References

- 1) K. I. Lee, H. S. Jeong, S. B. Jung and J. Y. Kang, "Trends of Electronic Controller in Power Transmission System," Transactions of KSAE, Vol.15, No.2, pp.1-10, 1993.
- 2) F. Jauch, "Model-Based Application of a Slip-Controlled Converter Lock-up Clutch in Automatic Car Transmissions," SAE 1999-01-1057, 1999.
- 3) T. Ochi, H. Takeuchi, H. Kimura and K. Watanabe, "Development of a Super-Flat Torque Converter for the New Toyota FWD 6-Speed Automatic Transaxle," SAE 2006-01-0149, 2006.
- 4) W. S. Kim, C. H. Han, N. K. Kim, K. S. Park, J. I. Park and J. H. Lee, "Effect of Lock-up Control Strategy on Vehicle Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.14, No.2, pp.9-15, 2006.
- 5) D. J. Kim, G. S. Lee, H. C. Kim, H. S. Heo, H. G. Lee, J. D. Jang and Y. S. Cho, "A Study on the Driving Characteristics and Fuel Economy Related to the Use of a Slip Control Damper Clutch Automatic Transmission," KSAE Conference Proceedings for the 30th Anniversary of Establishment, Vol.2, pp.881-886. 2008.