

정지구간에서 자동변속기 D단 중립 제어가 LA-4 모드 주행 연비에 미치는 영향

위 효 성¹⁾ · 정 연 식¹⁾ · 박 진 일²⁾ · 박 경 석³⁾ · 이 종 화^{*2)}

아주대학교 기계공학과¹⁾ · 아주대학교 기계공학부²⁾ · 금오공과대학교 기계공학부³⁾

Effect of D-Range Neutral Control of Automatic Transmission on LA-4 Mode Fuel Economy

Hyoseong Wi¹⁾ · Younsik Jung¹⁾ · Jinil Park²⁾ · Kyoungseok Park³⁾ · Jonghwa Lee^{*2)}

¹⁾Automotive Powertrain System Lab., Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

³⁾School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 14 January 2008 / Accepted 1 September 2008)

Abstract : This paper focuses on vehicle fuel economy improvement using D-Range neutral control of automatic transmission. The system objected to reducing of fuel consumption during idle. Usually, turbine of conventional auto transmission is mechanically linked to wheel during idling condition. Therefore speed ratio of torque converter is zero for that period. This causes needless power loss by the torque converter slip. To improve this inefficiency automobile makers develops electronically-controlled D-range neutral control system. The D-range neutral control system minimizes slip on the torque converter by shifting gear to a neutral position during vehicle stoped with D-range gear position. However there's insufficient study about the effect of D-range neutral control system on vehicle fuel economy. In this paper, researches are performed on effect of D-range neutral control system on vehicle fuel economy by experiment with two different vehicle. And it is also estimated the effect on vehicle fuel economy using computer simulation. As a result, 1.8% of LA-4 mode fuel economy improvement can be achieved in a vehicle by D-range neutral control system.

Key words : Fuel economy(연비), D-range neutral control system(D단 중립제어), Automatic transmission(자동변속기), Torque converter(토크 변환기)

Nomenclature

P : power, J/s
 p : pressure, bar
 T : torque, N-m
 V : voltage, V
 I : current, A
 Ω : angular velocity, rad/s
 C_f : capacity factor

Subscripts

b : brake
 i : indicated
 p : pumping
 ef : engine mechanical friction
 acc : accessories
 alt : alternator
 E : engine
 dyno : dynamometer

*Corresponding author, E-mail: jlee@ajou.ac.kr

1. 서론

자동차는 정지 시 제동 에너지 변환 효율이 0%이다. 여러 가지 이유로 연비가 중요한 요소로 인식되는 현재, 정지 시 소비 연료의 저감은 매우 중요하게 인식되는 인자로 완성차 회사에서도 아이들 엔진 속도 저감, 실린더별 연료량 및 점화시기 제어 등으로 정지 시 연료 소비 감소를 꾀하고 있다. 하지만 자동변속기 차량의 경우 운전 중 정차 시 D단을 그대로 유지하는 경우가 대부분이어서 토크컨버터에 의한 에너지 손실이 수동변속기에 비하여 크다. 자동변속기 장착 차량의 운전 중 차량 정차 시 기어가 자동으로 중립 상태가 되게 제어하는 것을 D단 중립 제어라 한다. 자동변속기 장착 차량의 경우 D단 중립 제어를 통해 LA-4 모드 전체 구간에서 20%나 차지하는 정지구간에서 연료 소비 저감을 기대할 수 있다.¹⁾ 하지만 이는 실제 운전 상황이 반영되지 않은 무부하 상태의 엔진에 대한 비교 자료의 의미 이상을 갖지 못한다.

본 연구에서는 이러한 정지 시 토크컨버터에서의 손실을 줄일 수 있는 D단 중립 제어(이하 중립 제어)에 대한 LA-4 모드 주행 연비 개선 효과에 대한 실험 수행하였다. 실제 운전 상황을 반영하여 만든 모드 주행 연비 기여도에 대한 시뮬레이션을 통하여 중립 제어가 실제 연비에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

2. 본론

2.1 실차 연비 기여도 실험

실차 상태에서의 연비 기여도 분석을 위하여 대상 차량에 대하여 에너지 흐름 모델링 및 실험을 수행하였고 중립제어 영향을 분석하기 위하여 중립제어 시 속도비를 정규화 하여 동 차종에 대한 연비 개선 효과를 계산하였다.

2.1.1 연비 기여도 분석 방법론

엔진에서 발생하는 도시동력과 펌핑손실동력은 다음 식으로 모사 될 수 있다. 여기서 n_1 과 n_2 는 각각 흡기과정과 배기과정의 하사점, n_R 은 실린더당 1사이클의 동력행정에 대한 크랭크 회전수를 의미한다.^{2,3)}

$$P_i = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_1}^{n_2} p_{cyl} dV \quad (1)$$

$$P_p = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_2}^{n_1} p_{cyl} dV$$

전기부하에 의한 소모 동력은 알터네이터의 배터리 충전 전류와 전압, 에너지 변환 효율에 의해 다음 식과 같이 결정된다.⁴⁾

$$P_{alt} = \frac{V_{bat} I_{alt}}{\eta_{alt}} \quad (2)$$

디젤 자동차에서 엔진 마찰은 엔진 회전 속도와 엔진 부하의 함수로 표현된다. 여기서 엔진마찰은 전기 부하 이외의 보기류 부하를 포함한다. Fig. 1은 엔진 회전 속도에 따른 엔진 기계 마찰을 엔진 동력 계 실험으로 구한 것이다.

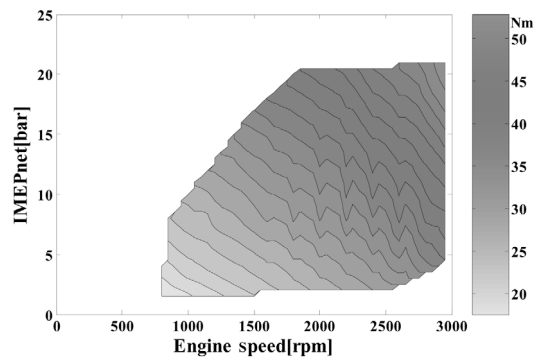


Fig. 1 Mechanical Friction according to Load and Speed

토크 컨버터의 속도비에 따른 토크비와 용량계수는 샤시 동력계 상에서 일정한 차량 속도와 기어단 수에서 엔진의 회전 속도를 달리하여 얻을 수 있다. 토크 컨버터의 입력축 토크는 식 (1)에서 얻은 엔진 도시 토크로부터 식 (2)의 보기류 동력 과 Fig. 1의 엔진 기계마찰을 제외한 값으로 얻을 수 있고 이는 식 (3)과 같다. 토크 컨버터의 출력축 토크는 다음 식 (4)과 같이 구할 수 있다. 여기서 i 는 기어비 이고, r 은 타이어의 동반경이다.

$$P_{pump} = P_i - P_p - P_{ef} - P_{acc} \quad (3)$$

Fig. 2는 속도비에 따른 토크비와 용량계수를 샤시 동력계 실험을 통하여 구한 값을 나타낸 것이다.

토크 컨버터 펌프 축 동력은 엔진에서 발생하는

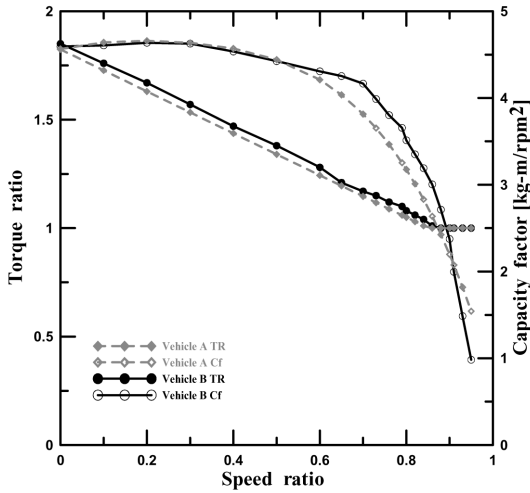


Fig. 2 Torque ratio and capacity factor according to speed ratio

도시동력에서 기계 마찰 손실, 펌핑 손실, 보기류 손실을 제외한 항으로 표현된다.

$$T_{turbine} = i \times F_{dymo} \times r \quad (4)$$

차량 정지 시 터빈 축 토크는 토크컨버터에서 손실되는데 이는 토크 컨버터의 용량계수와 펌프 축 입력속도에 의해서 결정된다.

$$T_{pump} = C_f \times N_E^2 \quad (5)$$

여기서 용량계수는 토크컨버터의 속도비의 함수이다. 용량계수는 토크컨버터의 펌프 쪽에서 받아들일 수 있는 토크를 나타내는 지표이고 속도비 0에서 이 값을 작게 함으로써 공회전 기간 동안의 연비를 향상시킬 수 있다.

차량 정지구간에서 공회전시 토크 컨버터 후단의 구동계로 동력전달이 이루어 지지 않기 때문에 토크 컨버터 펌프 입력 동력은 모두 토크 컨버터 손실로 생각할 수 있다. 이를 수식화 하면 다음과 같다.

$$P_{TCL} = T_{pump} \times \Omega_{pump} \quad (6)$$

2.1.2 실험 장치

시험차량은 중립제어가 적용된 2000cc급 디젤엔진과 4속 자동변속기가 장착된 전륜 구동 차량과 중립제어가 적용되지 않은 2000cc급 디젤엔진과 5속 자동변속기가 장착된 전륜 구동 차량이다.

구동력 측정을 위하여 각각의 실린더에 압력센서(Kistler사, 6058A, glow plug type)를 예열 플러그 형어댑터(Kistler사)를 사용하여 장착하였으며, 측정된 압력에 대한 전하량의 증폭에는 전하증폭기(Kistler사, 5019A140)를 사용하였다. 크랭크 각도 측정을 위하여 1도 단위의 엔코더(메트로닉스사, H40-8-0360ZV)를 사용하였다. 또한, 터빈 속도 측정을 위하여 TCU(Transmission Control Unit)에서 터빈 속도 신호를 취득하였다. 데이터 취득에는 VeFAS (Vehicle Fuel Analysis System, 아주대학교 동력시스템실험실)를 이용하였다. 전기부하에 의한 알터네이터 전류 측정을 위해 전류센서(한국 센서사, PLA100-04D15)를 이용하였다.

2.1.3 실험 방법

엔진에서 발생한 일을 측정하기 위하여 엔진의 크랭크 각도 1도마다 실린더 압력을 직접 측정하여 계산한 전체 도시 평균 유효압력으로부터 도시 동력을 계산하였다. 엔진 마찰 동력을 알기 위하여 엔진 동력계 실험을 실시하였다. 토크 컨버터의 속도비에 따른 용량계수와 토크비를 측정하기 위하여 샤시 동력계 실험을 수행하였다. 동시에 차속을 측정하였고 알터네이터 전류 및 배터리 전압을 측정하여 전기 부하를 알 수 있게 하였다.

각 차량에 대하여 LA-4 모드 주행을 통하여 모드 주행에 사용된 연료량을 CVS(Constant Volume Sampling)를 통하여 측정하였다.

2.1.4 실험 결과 및 고찰

대상차량에 대한 LA-4모드 주행 결과 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다. 각각의 차량에 대한 차량 정지구간 토크 컨버터 손실에 대하여 연비 기여도를 분석하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다.

대상차량 A의 경우 D단 중립 제어 적용으로 정지구간 토크 컨버터 손실이 2.03%로 나타났고, 대상차량 B의 경우 D단 중립 제어 미적용으로 정지구간 토크 컨버터 손실이 3.94%로 나타났다. 이는 Fig. 4와 같이 정차 구간에서 중립제어를 적용함으로써 엔진의 부하를 감소시킴으로 인한 토크 컨버터 동력 손실의 감소에 기인한다. 중립 제어 시 자동 변속기의 유압 조절 솔레노이드 밸브의 피드백 제어를 통하여 터빈의 회전 속도를 제어한다. 이때 속도비를

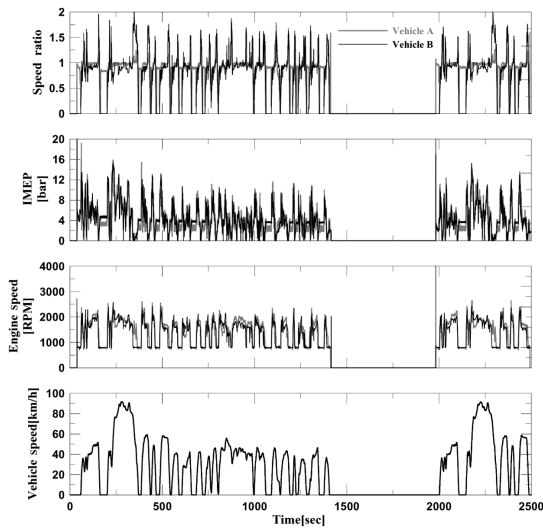


Fig. 3 Data acquisition by experiment

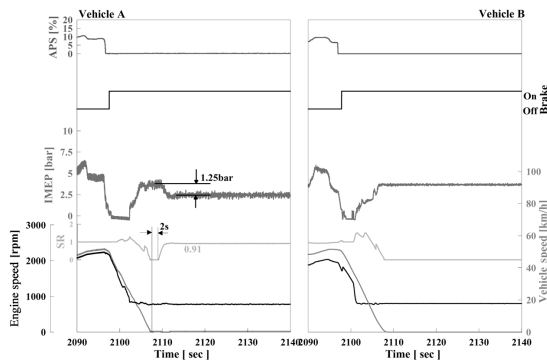


Fig. 4 Power loss during engine idle condition

Table 1 Comparison of F/E effect due to D-range neutral control

	Vehicle A	Vehicle B
F/E Effect due to idle T/C loss	2.03%	3.94%

0.91 정도로 한다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 이 영역에서는 용량계수의 급격한 감소로 토크 컨버터 펌프 측 입력 토크의 저감을 가져오고 이는 토크 컨버터 손실의 감소로 이어진다. 이는 Fig. 4에서 실측한 도시 평균 유효압력의 감소에 잘 반영되었다고 판단된다.

2.2 연비기여도 분석

본 연구에서 수행했던 실차 실험의 경우 각 대상

차량의 엔진 열효율 및 토크 컨버터의 특성이 차이가 있기 때문에 D단 중립제어의 연비 기여도에 대한 객관적인 지표로 삼기에는 무리가 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 D단 중립제어가 적용되지 않은 대상차량 B에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 D단 중립제어가 적용되었을 경우에 대하여 연비기여도를 분석, 실제 연비개선 효과가 얼마인지에 대한 객관적인 지표를 제시하였다.

2.2.1 중립 제어 모사

대상차량 A의 실험 데이터를 이용하여 대상차량 A에 D단 중립제어가 적용된 경우를 모사하기 위하여 중립 제어시 시간에 따른 속도비의 변화를 Fig. 5와 같이 추출하였다. 추출된 데이터를 대상차량 B의 정차시 속도비의 변화로 가정하였다. 대상차량 A의 데이터를 분석한 결과 차량이 정지한 순간부터 중립제어가 시작되기까지 2초의 시간이 걸렸고, 속도비 0.91로 수렴하는데 추가로 2초의 시간이 걸렸다.

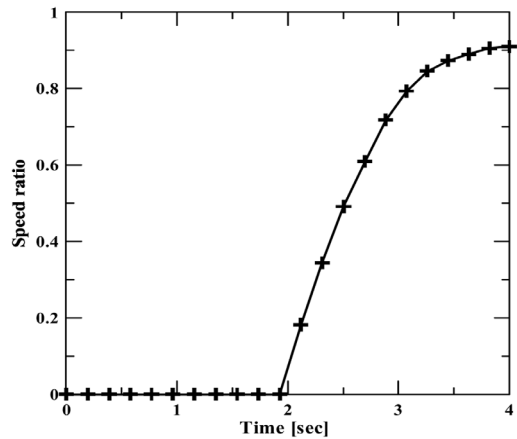


Fig. 5 Neutral control characteristics

2.2.2 분석 결과

추출된 속도비 데이터를 이용하여 계산한 결과 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다. Fig. 6의 첫 번째 그래프는 토크컨버터의 속도비이고 두 번째 그래프는 토크 컨버터 슬립에 의한 에너지 손실을 나타낸 것이다. 네 번째 그래프의 속도를 보면 차량의 정지 후 약 2초부터 중립제어가 시작되고 목표 속도비(0.91)에 맞추어 토크 컨버터의 속도를 제어한다. 이를 통

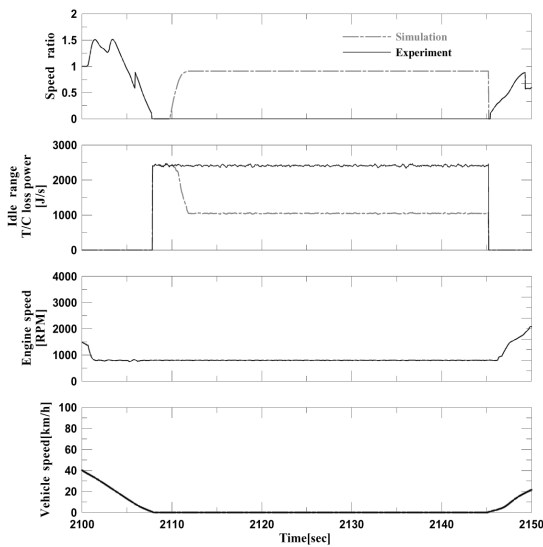


Fig. 6 Comparison of experimental and calculated data

Table 2 F/E improvement due to applying neutral control

	D-range neutral control	Conventional auto T/M
F/E effect due to idle T/C loss	2.18%	3.94%

하여 기존 토크컨버터 손실 동력 2500 J/s를 1000 J/s 수준으로 저감할 수 있다. 전체 LA-4모드의 공회전 구간은 24구간(약 350초)으로 대략 300초 정도를 중립제어로 차량 연비 향상을 기대할 수 있다. Table 2는 공회전 구간의 토크 컨버터에 의한 연비기여도를 두 가지 경우에 대하여 분석한 결과이다. D단 중립 제어를 통하여 차량 모드 연비의 1.77% 개선을 기대할 수 있음을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 D단 중립 제어를 통한 차량 공회전 시의 차량 모드주행 연비의 개선에 대하여 LA-4 모드 주행 실험과 중립제어 모사를 통한 계산을 이용한 비교분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존의 자동변속기를 사용하는 2000cc급 디젤 승용차량에 대한 실험결과, LA-4모드 주행시 정지구간의 토크 컨버터에 의한 연비기여도가

3.94%이고, 동급의 D단 중립제어가 적용된 차량의 경우 2.03%이다.

- 2) 기존의 자동변속기를 사용하는 차량에 D단 중립 제어를 적용할 경우, 차량의 정차시 기어의 중립 제어로 토크컨버터의 슬립양을 최소로 할 수 있고 이로 인해 토크컨버터 소모동력을 현저히 감소시킴으로써 약 1.77%의 연비개선 효과를 기대할 수 있다.
- 3) D단 중립제어에 의한 연비 개선 효과는 토크 컨버터의 용량계수에 의하여 결정(식 (5),(6)되고 용량계수는 속도비의 함수이므로 각 대상 차량에 대한 적절한 속도비 제어가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부 주관 자동차기반기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) Y. Ito and H. Sato, "Development of an Electronically-Controlled Four-Speed Automatic Transmission with a D-Range Neutral Control System," Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, 2000.
- 2) H. Song, J. Lee, K. Kim, J. Yoo, B. Rhee and K. Min, Modeling and Experiments for the Breakdown of Fuel Consumption in Passenger Car, Ph. D. Dissertation, Ajou University, 2002.
- 3) J. Yoo, H. Song, J. Lee, J. Yoo, Y. Park and K. Park, "An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in Gasoline Engine Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.153-161, 2004.
- 4) N. K. Kim, J. H. Lee, J. S. Yoo and J. I. Park, Effect of the Accessories Driving Power on Vehicle Fuel Economy, M. S. Thesis, Ajou University, 2005.