

Air Conditioning System이 차량 모드 주행 연비에 미치는 영향 연구

김 대 광¹⁾ · 조 근 진¹⁾ · 박 진 일²⁾ · 이 종 화²⁾

아주대학교 대학원 기계공학부¹⁾ · 아주대학교 기계공학부²⁾

Effect of Air Conditioning System on Vehicle Fuel Economy in a Passenger Car

Daekwang Kim¹⁾ · Geunjin Cho¹⁾ · Jinil Park²⁾ · Jonghwa Lee²⁾

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

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

(Received 11 February 2006 / Accepted 13 June 2006)

Abstract : Fuel efficiency is one of the major issues in regard to energy and environment. As customers desire more comfortable vehicles, increase of accessory traction force is necessary. Air conditioning system (ACS) consumes the biggest traction force among accessories, especially during summer. This means ACS is the primary object deteriorating fuel economy among accessories. Since direct measurement of traction force and fuel consumption in practical vehicle is difficult, comparison analysis is taken between vehicle with and without ACS working. For this comparison, real time measurements are carried out to know ACS traction force and fuel consumption. As a result of the comparison, a vehicle without ACS operation was 15.92% superior to a vehicle with ACS operating. It could be used as a fundamental material for improvement ACS for better fuel efficiency.

Key words : Air conditioning system(에어컨디셔닝시스템, ACS), Engine total friction(엔진 총 마찰), Fuel economy(연비), Driving torque(구동력)

Nomenclature

T : torque, N-m
I : inertia mass moment, kg-m²
 α : angular acceleration, rad/s²

Subscripts

TF : total friction I : indicated
DCL : damper clutch loss b : brake
DT : drive train W : wheel
pump : pumping

1. 서론

지속적인 자동차에 대한 편의성, 안락함, 안전성에 대한 요구로 인해 차량 보기류 소요 구동력이 증대되고 있다. 이는 곧 차량 연료 소모량의 증가를 야기 시키며, 특히 ACS(Air conditioning System)는 보기류 중에서도 많은 구동력을 요한다. ACS는 여름철에 안락한 차량 환경을 조성하기 위한 없어서는 안될 중요한 차량 구성품 중의 하나이다. 그러나 최근 자동차 연료로 쓰이는 화석연료의 고갈 및 가격 상승으로 인한 차량 연비개선이 촉구되고 있는 실정이다. 따라서 ACS가 차량 연비에 미치는 영향에 대한 연구는 안락한 차량 환경을 해치지 않는 측면

*Corresponding author, E-mail: kdkjangg@hotmail.com

에서 차량 연비향상이라는 관점으로 접근해야 할 것이다.

지금까지 ACS가 연비에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 밝혀졌으나, 실제 차량 모드 주행시 관한 연구는 부족한 실정이다. ACS의 소요 구동력은 엔진 회전속도가 낮은 영역에서 상대적으로 많은 구동력을 요한다.²⁾ 이는 고속주행 보다는 시내 주행시 연료 소비량이 증가하는 것을 의미한다. 그러므로 시가지 주행과 유사한 FTP-75 주행 모드를 통해 ACS의 소요 구동력이 연비에 미치는 영향에 대한 자세한 연구가 필요하며 연비에 영향을 미치는 인자들에 대한 현상 분석이 선행되어야 할 것이다.

2. 차량 동력계 모델

Fig. 1과 같이 차량에 유입된 연료에너지는 엔진에서 연소과정을 거쳐 일로 전환돼 차륜까지 전달된다. 엔진에 유입된 연료는 연소에 의해 발생하는 에너지와 불완전연소손실로 나누어진다. 연소에 의해 발생한 에너지는 열손실 부분과 도시동력으로 전환된다. 도시동력은 엔진에서의 손실인 총 마찰손실과 차량으로 동력이 출력되는 제동동력으로 분류하였다. 그리고 제동구간에 분사된 연료는 따로 계산을 하였다.

엔진에서 발생된 토크를 측정하기 위해서는 직접 축토크 센서를 통해 측정하는 방법이 정확하지만 실 차량에서 센서를 설치하기에는 어려움이 많다. 본 연구에서는 엔진의 크랭크각 1도마다 실린더 압

력을 직접 측정하여 계산한 전체도시평균 유효압력 (IMEPgross)으로부터 엔진에서 발생한 토크를 측정한다.¹⁾

여기서 측정된 토크 (T_i)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_i = T_I + T_{TF} + I_E \alpha_E \quad (1)$$

식 (1)에서 T_I 는 변속기의 입력토크, 즉 엔진의 제동토크, T_{TF} 는 마찰에 의해 소산된 토크, I_E 는 엔진의 회전 관성모멘트, α_E 는 엔진의 각 가속도를 의미한다.⁴⁾

엔진의 총 마찰토크(T_{TF})은 엔진의 기계적 마찰 (T_{EF}), 교류발전기손실(T_{alt}), 펌핑손실(T_{pump})과 ACS손실(T_{ACS})의 합으로 나타낼 수 있다.

$$T_{TF} = T_{EF} + T_{alt} + T_{pump} + T_{ACS} \quad (2)$$

식 (2)에서 가솔린 엔진의 마찰토크 인자중 엔진 기계적 마찰과 펌핑손실의 합 ($T_{EF} + T_{pump}$)은 엔진의 부하에 관계없이 엔진의 회전수에 따라 거의 일정한 값을 가지기 때문에 엔진회전수의 함수로 나타낼 수 있다.^{3,5)} 교류발전기 손실 또한 엔진 회전수의 함수이지만 ACS 작동시에는 다른 양상을 보이므로 포함시키지 않았다.

Fig. 2는 엔진 회전수에 따라 마찰 토크를 측정할 값을 나타낸 것이다.

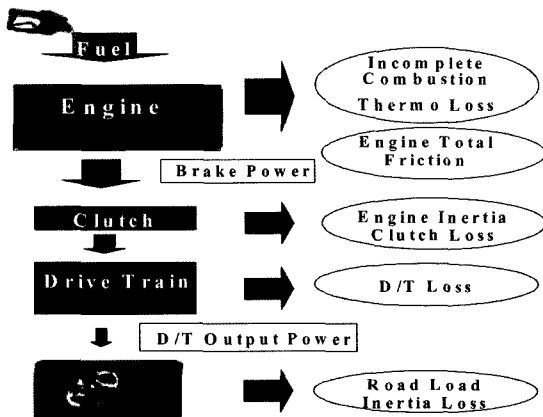


Fig. 1 Energy Flow diagram for a vehicle

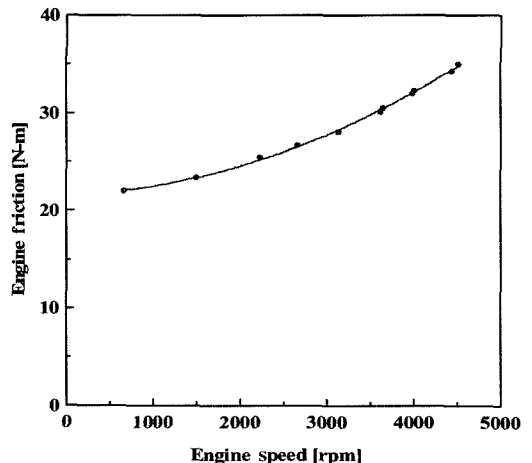


Fig. 2 Engine friction as a function of engine speed

각 데이터 포인트는 200사이클의 평균값이다. 엔진 회전수가 증가함에 따라 엔진 기계적 마찰과 펌핑손실의 합도 증가하는 것을 보여준다. 본 연구에서는 엔진 기계적 마찰과 펌핑손실의 합을 2차식으로 표현하여 사용하였다.

실제 차량 주행 기간중 ACS의 구동토크를 구하기 위해 작동시 제동토크(T_b^*), 작동하지 않을 때 제동토크(T_b)차이를 이용하였다.

$$T_b = T_i - T_{TF} \quad (3)$$

식 (2) 엔진 총 마찰 인자중 T_{ACS} 항목은 따로 계산을 하기 않았으므로, ACS 작동시 식 (3)에서 T_b^* 는 실제 값보다 T_{ACS} 값 만큼 커지게 된다.

$$T_{ACS} = T_b^* - T_b \quad (4)$$

따라서 식 (4)와 같이 ACS의 구동토크를 취득 할 수 있다. Fig. 3은 위와 같은 방법으로 차량이 정지된 상태의 엔진 총 마찰 토크, ACS의 구동토크를 얻은 것이다.

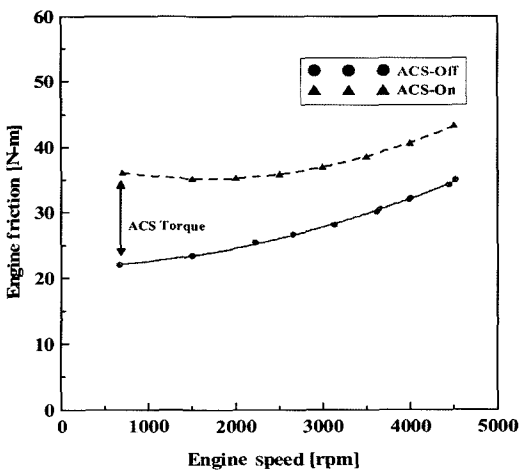


Fig. 3 Comparison of the engine total friction with ACS On/Off

다음은 엔진의 제동토크가 차륜까지 전달되는 과정을 단순화 시키면 다음과 같이 표현하였다.

$$(T_T + T_{DCL}) - T_{CL} - T_{DTF} - I_{DT}\alpha_{DT} = T_W \quad (5)$$

식 (5)에서 T_T 는 토크 컨버터의 출력토크, T_{DCL} 는

댐퍼 클러치 동작에 의한 손실토크, T_{CL} 는 변속기 클러치 손실토크, T_{DTF} 는 구동계 마찰토크, I_{DT} 는 변속기의 회전 관성 모멘트, α_{DT} 는 구동계 회전속도, T_W 는 차륜에 전달된 토크를 의미한다.

자동변속기 차량의 터빈축 토크는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_T = TR \cdot T_i \quad (6)$$

식 (6)에서 TR 은 토크비(T_T/T_i)를 의미한다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

시험차량은 2000cc 급 DOHC-VVT 엔진과 4속 자동변속기가 장착된 전륜 구동 차량이다.

엔진에서 발생된 토크를 계산하기 위하여 각각의 실던더에 압력센서(Kistler사, 6052A, spark plug type)를 스파크 플러그 형 어댑터(Kistler사, 6617BFD17)를 사용하여 장착하였다. 이에 엔진 회전에 따른 압력을 측정하여 IMEPgross 와 PMEP를 구한다.

엔진의 회전수를 측정하기 위하여 1회전당 360펄스가 발생하는 엔코더(메트로닉스사, H40-8-0360ZV)를 엔진의 크랭크축에 장착하였으며, 차량의 속도를 측정하기 위하여 차량 바퀴축에 엔코더를 장착하였다.

전류데이터를 취득하기 위해 전류센서(한국센서사, PLA100-04D15)를 교류발전기에 장착하였다.

온도데이터 취득을 위해 냉각수 입-출구, 냉각수, 연료, 흡기 매니폴더, 엔진오일, 기어오일과 외기온도를 측정부분에 T-type 열전대를 설치하였고, 배기가스 온도를 측정부분은 K-type 열전대를 설치하였다. 공연비 측정을 위하여 광역산소센서(HORIBA, MEXA-110)를 배기 매니폴더로부터 50mm 떨어진 곳에 설치하였다.

실시간 연료분사량을 취득하기 위해 각각의 인젝터를 Rig-Test 통해 연료분사식 및 보상식을 얻었고, 엔진 컨트롤러의 연료분사 시간 및 연료온도, 기타 신호를 통해 실시간 연료분사량을 계산하였다. 기타 신호들은 엔진 컨트롤러와 변속기 컨트롤러로 입출력되는 신호로부터 취득, 교정하였다.

3.2 실험방법

먼저 가솔린 장착 차량에 대한 엔진 마찰토크, 엔진 회전관성, 동력 전달부의 마찰토크, 동력 전달부의 회전관성을 측정하였다. 엔진 총 마찰토크는 부하에 관계없이 엔진 회전속도의 함수로 표현 할 수 있으므로, 기어를 무부하 상태인 중립으로 놓고 일정한 엔진 회전속도를 유지하면서 각각 회전속도 별로 실린더 압력을 측정함으로써 구할 수 있다. 엔진 회전 관성은 무부하 상태에서 엔진 회전수를 변화시키면서 측정하였다.⁴⁾

또한 차량의 전류를 지면에서 떨어지게 하여 차륜의 부하를 제거한 상태에서 동력 전달부의 마찰토크와 회전관성을 각 기어 단수별로 측정하였다. 보기류 중 교류발전기는 전류데이터를 측정하여 구동 토크를 얻었다. 또한 본 차량의 Power steering system 은 Electric Power Steering System(EPS)으로 전류를 측정하여 소요 구동 토크를 얻었다.

4. 실험 결과 및 고찰

ACS를 작동시켰을 때와 작동시키지 않았을 때의 두가지 경우를 FTP-75모드에서 냉시동(Cold-start) 실험한 결과 아래와 같은 CVS(Constant Volume Sampling) 결과를 얻었다.

Table 1 Comparison of fuel economy at FTP-75 mode

Mode	CVS (mile/gallon)	연비비교(%)
ACS - Off	30.02	-
ACS - On	25.24	15.92% 열세

Table 1에서 ACS를 작동시켰을 때 15.92% 연비가 악화되는 것으로 나타났다. 이는 곧 18.94%의 연료량을 증가시킨다. 본 연구에서는 ACS를 작동시켰을 때와 그렇지 않았을 때 연비인자 항목별로 연비에 어느 정도 기여하는지를 분석하고자 한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 ACS를 작동하지 않았을 때와 작동하였을 때, 각각 인자 별로 소요되는 연료량을 구한 것이다. 여기서 제동일로 소모되는 연료량은 동일한 모드 주행을 하였기 때문에 거의 유사하다. Fig. 5를 보면 ACS에 의해 연료량이 무려 59.4g이 소모됨을 볼 수 있다. 또한 ACS에 의해 엔진 기계적 마

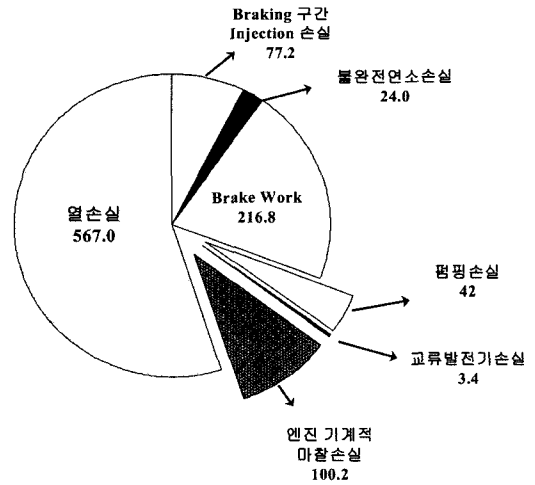


Fig. 4 Break down of fuel consumption for the FTP-75 mode (ACS-Off) (단위:g)

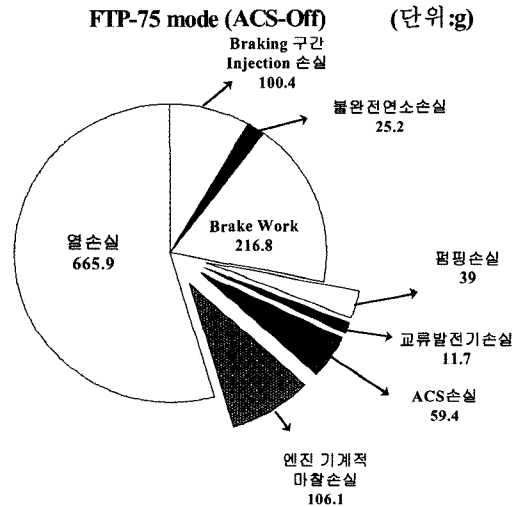


Fig. 5 Break down of fuel consumption for the FTP-75 mode (ACS-On) (단위:g)

찰, Braking 구간 Injection loss, 펌핑손실, 교류발전기손실, 불완전연소손실, 열손실 등에 소모되는 연료량의 차이를 확인할 수 있다.

ACS를 작동시 15.92%의 열세의 원인을 분석하기 위해 각각 항목별 연료량을 효율을 고려하여 환산 연료량을 계산한 다음 연료량 차이를 토대로 항목별 연비 기여도를 분석하였다.

Fig. 6의 결과와 같이 엔진 기계적 마찰 손실은 1.28% 연비열세, ACS 손실은 12.78% 연비열세, 교류발전기손실은 1.79% 연비열세, 펌핑손실은 0.65%

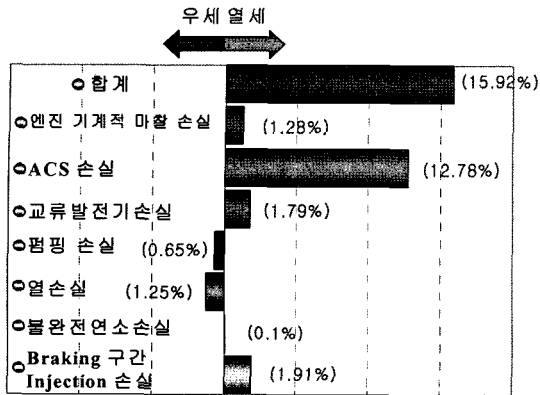


Fig. 6 Comparison of the fuel consumption with ACS On/Off during FTP-75 mode

연비우세, 열손실은 1.25% 연비우세, 불완전연소 손실은 0.1% 연비열세, braking 구간 Injection 손실은 1.91%의 연비열세를 가져왔다. 특히 제동효율을 고려한 엔진 총 마찰 측면을 보면, 연비열세중 대부분인 15.19%를 기여하고 있다. ACS 작동시 연비 악화의 주된 요인은 엔진 총 마찰에 의해 기인하는 것을 확인하였다.

이러한 연비열세를 심층적으로 접근하기 위해 실시간 데이터를 통해 분석하였다. Fig. 7은 FTP-75 mode 중 Phase 3 영역 first hill 구간이다. ACS에 의해 소모되는 연료량을 실시간으로 구해보면, 감속구간을 제외한 전구간에서 큼을 알 수 있다. 특히 Idle 구간에서 차이가 확연히 드러난다. ACS가 작동되었을 때, 저속영역으로 갈수록 대체로 큰 구동력이 소요되는데, 특히 차량이 정지된 Idle 구간에서는 더욱 더 요구된다. 이렇게 ACS에 의해 증가되는 구동력은 엔진 총 마찰의 증가를 가져온다. 이는 더 많은 공기량을 요구함으로써 흡기 매니폴더 압력(MAP) 값이 증가하고, 연료분사량도 증가하게 된다. 전구간 MAP의 증가로 PMEP값이 작아짐으로 펌핑손실은 오히려 감소하게 된다. Idle 구간은 특히 엔진 컨트롤러에서 ISA(Idle Speed Actuator)에 의해 공기량을 증가시키게 된다.

1988초 영역에서 ACS 작동시 엔진 회전속도가 크게 증가함을 볼 수 있다. 이는 기어 변속 패턴이 늦어짐을 뜻하는 것이다. 특히 급가속 영역에서 주로 패턴이 늦어지고 있다. 이는 ACS 작동으로 인한 엔진 총 마찰의 증가로 ACS 작동전과 같은 가속을

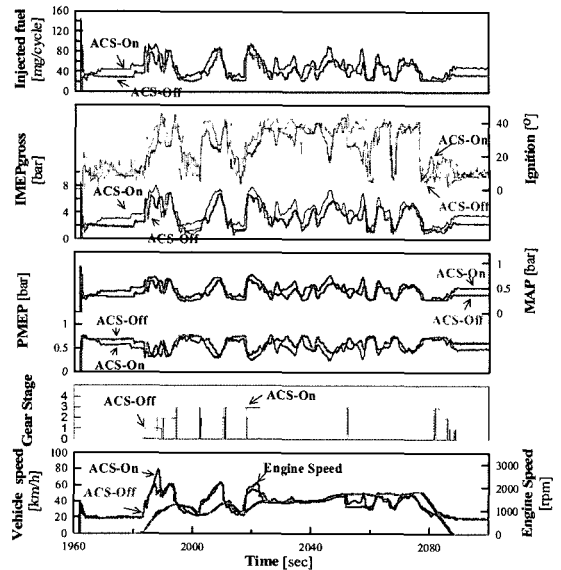


Fig. 7 Comparison of engine data during FTP-75 mode phase3 first hill

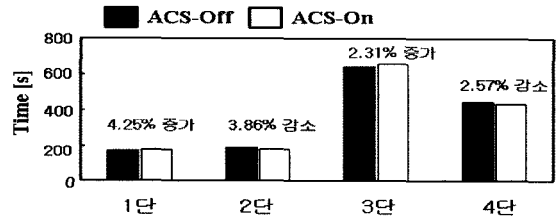


Fig. 8 Comparison of the use time of gear during FTP-75 mode

하기 위해선 높은 엔진 회전속도를 필요로 하기 때문이다. 실제 FTP-75 전구간 평균 엔진 회전속도가 1.45% 증가하였다.

Fig. 8은 FTP-75 mode 전구간 기어 잔류시간을 구한 것이다. ACS 작동시 대체로 저속 기어단에 잔류하는 시간이 증가함을 볼 수 있다. 이는 엔진 사이클의 증가의 원인이 된다. Fig. 9는 각각의 기어 단수별로 엔진 사이클수를 나타낸 그래프이다. 엔진 총 사이클을 braking 구간을 고려하여 계산해보면, ACS 작동시 2.04%의 증가하였다. 이것은 엔진 기계적 마찰과 펌핑손실의 연료소모량을 2% 증가시켰다.

앞서 언급했듯이 연비차이의 대부분의 원인은 엔진 총 마찰 증가이다. Fig. 10은 엔진 총 마찰 인자별 토크를 실시간으로 구한 결과이다. ACS 구동토크는 앞서 실험을 통해 취득한 엔진회전수의 합

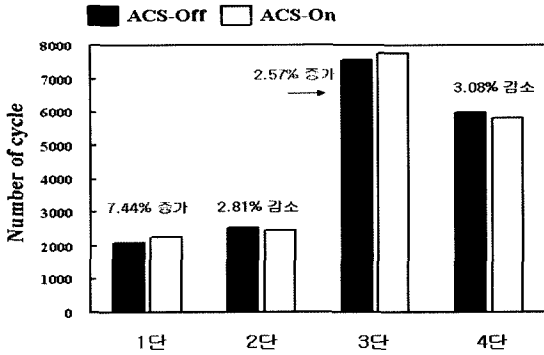


Fig. 9 Comparison of the number of cycle during FTP-75 mode

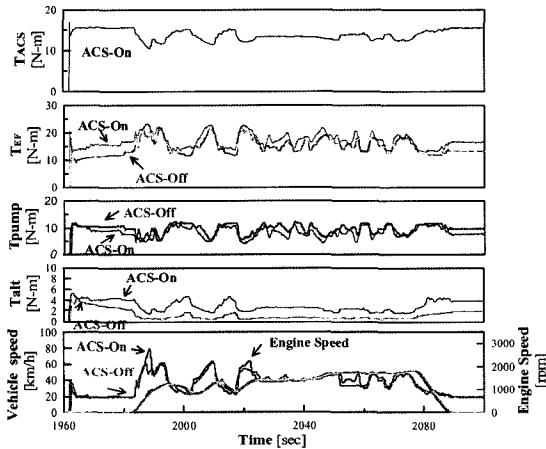


Fig. 10 Comparison of engine total friction with ACS On/Off during FTP-75 mode phase3 first hill

수로 계산을 하였다. 엔진 회전수의 함수를 통해 구한 연료량은 제동 토크를 이용한 방법과 오차가 거의 0.3% 정도였다.

엔진 총 마찰의 증가를 살펴보면, 엔진 기계적 마찰은 ACS가 작동되었을 때, 부하증가와 총 사이클의 증가, Cooling FAN에 의한 엔진 냉각에 의해 증가하였다. 교류발전기는 Cooling FAN과, Blower FAN, 기타 부하의 증가로 구동토크가 증가하였다. 또한 엔진 총 마찰 증가량중 ACS의 마찰이 가장 큰 비중을 차지함을 볼 수 있다.

Fig. 11은 Phase 3 영역 second hill 구간이다. Fig. 7과 비교해볼 때 ACS 작동전과 후의 연료량 차이가 작음을 알 수 있다. 즉 고속주행에서는 ACS에 의한 연료량 증가가 약간 감소하였다.

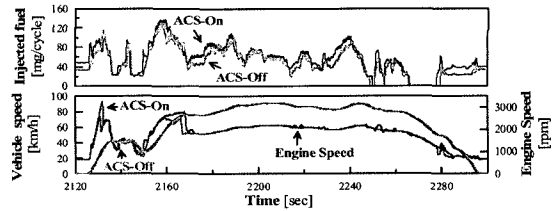


Fig. 11 Comparison of engine data with ACS On/Off during FTP-75 mode phase3 second hill

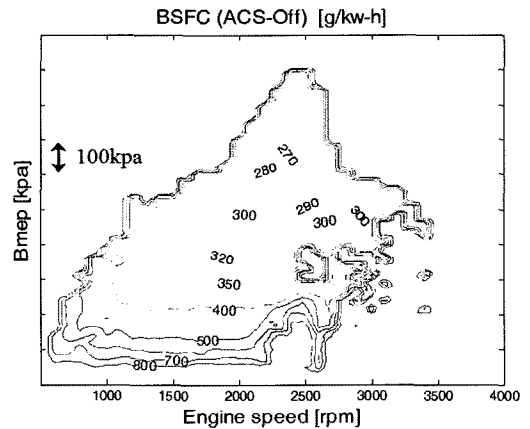


Fig. 12 Fuel consumption MAP of the FTP-75 mode (ACS-Off)

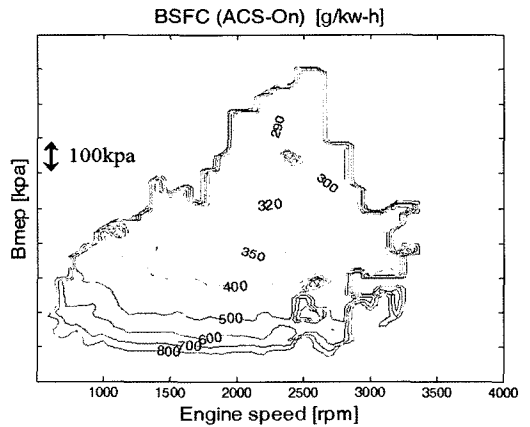


Fig. 13 Fuel consumption MAP of the FTP-75 mode (ACS-On)

그리고 Fig. 7의 1990초, Fig. 10의 2130초와 2160초 영역에서는 기어 변속패턴이 늦어지고 있다. 주로 급가속시 늦어짐을 다시 확인할 수 있다. 2278초 부근에선 연료 차단구간이 감소하고 있다. 이는 곧 연료분사량 증가를 의미한다.

Fig. 12와 Fig. 13은 ACS 작동전과 작동후의 BSFC

(Brake Specific Fuel Consumption) 맵을 나타낸 것이다. ACS가 작동되었을 때 거의 전구간에서 연료소비율이 증가함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 ACS 작동에 따른 차량 연비를 비교하기 위하여 FTP-75 주행모드를 실험하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실차 상태에서 ACS 작동시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 제동토크의 차이를 이용해 ACS 구동토크를 구할 수 있었다. 또한 항목별 연비인자 분석을 통해 ACS에 의한 연료소모량을 구할 수 있었다. ACS의 구동 토크는 Idle 구간에서 가장 크게 나타났고, 엔진회전수가 증가할수록 감소하였다. 본차량은 고정식 ACS이므로, ACS의 구동토크를 엔진회전수의 함수로 표현했을 때 오차가 거의 없었다.
- 2) FTP-75모드를 주행했을 때 ACS 작동시 약 15.92% 연비열세를 가져왔다. 이중 엔진 총 마찰이 15.19% 열세에 기여하였다. 엔진 총 마찰중 특히 ACS는 12.77% 열세, 엔진 기계적 마찰은 1.28% 열세, 펌핑손실은 0.65% 우세, 교류발전기는 1.79% 열세 기여하였고, 기타 0.73%는 Braking 구간의 연료분사량 손실과 열손실, 불완전연소손실, 연료차단구간 감소에 따른 연료 분사 증가량 등이 해당한다. 이러한 손실로 인해

연료소모율 맵의 큰 변화를 야기시켰다.

- 3) ACS 작동중 급가속시 기어 변속패턴이 늦어짐에 따라 엔진 회전속도의 증가로 인해 연료소모량이 증가하였다. 저단에 잔류하는 시간이 약간 증가였고, 이는 곧 엔진 총 마찰 증가와 연료분사량 증가에 기여하였다.

References

- 1) H.-B. Song, Y.-J. Choi, J.-H. Lee, H.-S. Cho and N.-H. Cho, "An Experimental Study of the Improvement of Drivability in Vehicle Acceleration Mode," Transactions of KSAE, Vol.9, No.6, pp.65-75, 2001.
- 2) N.-K. Kim, "Effect of the Accessories Driving Power on Vehicle Fuel Economy," M. S. Thesis, Ajou University, No.95, p.68, 2005.
- 3) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, New York, pp.721-722, 1988.
- 4) H.-B. Song, Modeling and Experiments for the Breakdown of Fuel Consumption in a Passenger Car, P.h. D. Dissertation, Ajou University, No.200, pp.46-49, 2002.
- 5) F. An and F. Stodolsky, "Modeling the Effect of Engine Assembly Mass on Engine Friction and Vehicle Fuel Economy," SAE 950988, 1995.