<학술논문> DOI http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2013.37.1.059 ISSN 1226-4881

차량용 에어컨 압축기가 실차 연비에 미치는 영향에 관한 실험적 연구§

유 성 연* · 김 영 신*†
* 충남대학교 기계설계공학과

Experimental Study on Effects of Compressor for Automotive Air Conditioning System on Fuel Economy

Seong-Yeon Yoo* and Young-Shin Kim*†
* Dept. of Mechanical Design Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received May 15, 2012 ; Revised September 13, 2012 ; Accepted September 18, 2012)

Key Words: Air Conditioning System(에어컨), Compressor(압축기), Fuel Economy(연비), Automobile(자동차), Climate Wind Tunnel(환경풍동)

초록: 본 논문은 차량용 에어컨 압축기가 실차 연비에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 연구한 것으로, 본 연구의 목적은 연비에 주요한 영향 인자인 압축기의 토출 용량별 구동 토크에 의한 실차 연비 기여도를 분석하는 것이다. 연비에 직접적인 영향을 주는 압축기의 부하를 측정하기 위하여 압축기 클러치에 직접 부착하는 토크 센서를 개발하였으며, 실차 평가전 벤치 토크 미터와의 비교 평가를 통하여 토크 센서의 신뢰성을 검증하였다. 토크 센서가 부착된 압축기를 장착한 차량을 환경 풍동에서 연비 측정을 할 수 있도록 장치를 구성한 상태에서 연비 평가를 수행하였다. 압축기의 토출 용량에 따른 구동 토크는 연비에 직접적인 영향을 주며, 동일 사양 압축기에서 토출 용량이 약 11% 커질 때 연비는 약 2~3% 악화됨을 알 수 있었다.

Abstract: In this study, the effects of the compressor for the air conditioning system on the fuel economy were experimentally investigated in an actual automobile. This study aims to analyze the level of contribution of the driving torque of the compressor to the fuel economy. A torque sensor, which is directly set on the clutch of the compressor, is developed to obtain data about the compressor load, which influences the fuel efficiency, and then, the reliability of the torque sensor is verified by comparing the results with those of a torque meter in a bench test. An actual automobile equipped with the compressor and torque sensor is operated in a climate wind tunnel in which appropriate facilities are set up to evaluate the fuel efficiency. The compressor driving torque resulting from the difference in the compressor displacement is found to influence the fuel economy, and the fuel economy is found to be worsened by up to 2~3% with an around 11% increase in the compressor displacement under the same conditions.

1. 서 론

자동차 산업은 금융위기 이후에 기존에 이슈화 되었던 환경 문제에다 에너지 절감에 대한 문제가 더해지면서 효율 향상과 신재생 에너지 개발에 관심이 더욱 더 집중되고 있다. 이에 더하여 중동의 불안정한 정세와 화석 연료의 고갈에 대한 위기의식은 차량 연비 향상에 대한 관심을 더욱 고조시키고 있는 상황이다. 세계 경제에서 자동차 산업이 차지하는 비중이 날로 커져가고 있는 상황에서 세계 각국의 자동차 업체들은 지구 온난화 방지와 신기술의 선점을 통한 시장 확대를 위하여 연비 개선에 총력을 기울이고 있다. 자동차 에어컨 분야에서도 연비를 개선하고 향상시키는데 기여하고자 수 많은 신기술들이 제품에 반영되고 있으며, 관련된 실험과 논문들도 지속적으로 늘어나는 추세이다.

김대광 등[1]은 자동차에서 에어컨을 작동시키면 에어컨을 작동시키지 않을 때보다 약 15.92% 정

§ 이 논문은 2012 년도 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회(2012. 5. 23.-26., 용평리조트) 발표논문임.

† Corresponding Author, yskim2@e-hcc.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

도 연비가 악화됨을 실험을 통하여 알아 냈고, 차용웅 등[2]은 에어컨 시스템의 냉매 배관의 열전달 특성 변화에 따른 성능 향상을 통하여 압축기 최대 토출 용량을 줄임으로 연비를 약 2.4% 정도 개선시킬 수 있게 되었음을 실험을 통하여 확인하였다. 이창원 등[3]은 파워 트레인과 에어컨 가변 압축기 제어 로직을 개발하여 연비 향상을 이루었으며, 송준형 등[4]은 차량 운전 형태에 따른 연비 영향도를 연구하였다. 압축기 측면에서도 활발하게 연구가 진행되고 있는데, 동일한 최대 토출 용량을 가지는 고정식 압축기와 가변식 압축기를 동일한 차량에서 연비 측면에서 상호 비교 평가[5]를 진행하고,연비 평가 조건에서 고정식 압축기와 가변식 압축기의 토크 특성[6]에 관하여 연구하는 등 다양한 실험이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 완성차 에어컨 연비에 주요한 영향 인자로 인식하고 있는 차량용 에어컨 압축기의 토출 용량별 구동 토크에 의한 실차 연비 기여도를 분석하기 위하여 실차 환경 풍동(CWT : Climate Wind Tunnel)에서 실험을 수행하였다. 이때 압축기의 토크를 실차 상태에서 직접 측정할 수 있도록 토크 센서를 개발하였고, 토크 센서의 신뢰성을 확보하기 위하여 벤치 장비에서 검증 실험을 수행하였다. 본 연구의 또 다른 목적은 압축기의 설계와 에어컨 시스템 설계 시에 비용과 시간이 많이 소요되는 실차 평가를 하지 않고 벤치 평가만으로 신뢰성 있는 기초설계자료로서 확보할 수 있는지 판단하는 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 실차 에어컨 냉난방 성능 평가를 할 수 있는 환경 풍동에서 완성차를 대상으로 실험용 압축기만을 교환하면서 실험을 진행하였으며, Fig. 1은 본 실험에 사용한 실차 환경 풍동의 사진을 보여주고 있으며, Table 1은 실차 환경 풍동 설비의 제원을 보여주고 있다.

연비의 측정은 통상 차량 배기가스를 분석하는 방법과 연료 소모량으로 계산하는 방법이 있으며, 본 실험에서는 연료 소모량을 비교 평가하는 방법을 사용하였다. 실험에 사용한 가솔린 엔진의 경우에는 연료 공급 계통에 연료 유량계를 설치하여 동일한 조건에서 실험을 수행하여 소모된 연료량을 연비로 환산하였다. Fig. 2는 본 실험에서 사용한 가솔린 엔진 차량에 연료 소모량을 측정하기 위해 설치한 유량계의 개략도를 보여주고 있다.

Table 1 Specifications of CWT

Type	Specification
Chamber temp.	-40 ~ 60 ℃
Wind speed range	0 ~ 200 km/h
Humidity range	20 ~ 90 %RH
Dynamo absorbtion	210 HP
Sun load range	300 ~ 1400 W/㎡

Fig. 1 Photo of CWT

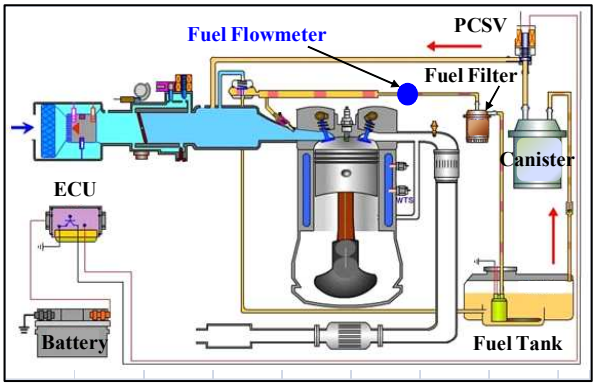

Fig. 2 Schematic of fuel flowmeter

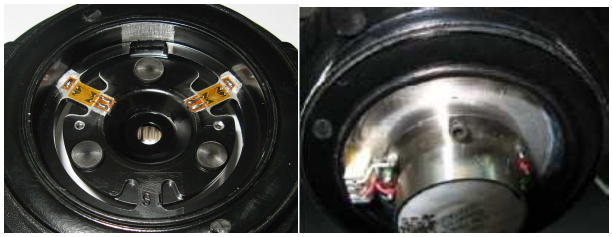

Fig. 3 Photo of torque sensor

실차 평가에서 압축기 토크를 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 압축기 클러치부에 직접 부착한 토크 센서를 개발하였다. 이때 클러치는

본래의 기능상 문제가 없는 수준에서 압축기 구동 토크에 최대한 민감하게 반응할 수 있도록 특수 제작하였으며, 소재 선정과 기능 유지성 확보는 구조 해석과정을 통하여 제작 사양을 결정하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용한 토크 센서의 사진을 보여주고 있으며, 클러치를 압축기에서 분리하고 스트레인 게이지가 부착된 토크 센서를 장착하였다. 이때 스트레인 게이지를 보호하기 위하여 커버를 덮고 클러치 회전 중에도 안정적으로 토크 신호를 전달 받을 수 있는 슬립 링을 설치하였다.

본 실험을 위해 개발한 토크 센서를 사용함에 있어서 가장 중요한 것은 신뢰성의 확보이다. 실차 실험을 수행하기 전에 제작된 토크 센서의 신뢰성을 확보하기 위하여 기 검증된 토크 미터가 장착되어 있는 벤치 장비에서 벤치 토크 미터와 비교하여 신뢰성을 검증하였다. 벤치 장비는 Fig. 4에 보인 바와 같이 실차의 구성과 동일하게 에어컨 시스템을 장착할 수 있도록 증발기가 있는 챔버와 응축기와 압축기가 있는 챔버로 구분되어 있으며, 각각의 챔버는 온도와 습도가 독립적으로 제어된다. 압축기의 구동토크를 측정할 수 있도록 토크미터가 설치되어 있으며 실차 실험을 위하여 개발된 토크 센서의 검교정을 본 장비에서 수행하였다.

2.2 실험방법

동일한 사양의 압축기를 최대 토출 용량만을 달리하여 세가지 시료를 제작하였으며, 실험 중 각각의 압축기에서 구동 토크를 측정하기 위하여 검증된 하나의 토크 센서를 가지고 각각의 압축기에 교체 장착하면서 실험을 수행하였다. Table 2는 본 실험에 사용된 가변 사판식 압축기의 사양을 보여주고 있다.

벤치 장비에서 토크 센서의 검교정을 수행할 때에는 토출량이 가장 큰 160 cc/rev 한가지 압축기만을 사용하였으며, 토크 센서에서 출력되는 신호 값을 벤치 토크 미터에서 측정되는 토크 값과 비교하여 추세선 그래프를 통한 상관 관계식을 도출하였다. 검교정이 완료된 토크 센서를 이용하여 압축기별로 북미 실차 에어컨 연비 인증모드 조건을 모사한 벤치에서 상호 비교 평가를 수행하였다. Table 3에서는 북미 에어컨 연비 인증모드인 SC03조건을 보여준다.

검증이 완료된 토크 센서가 장착된 압축기를 환경 풍동에서 완성차량에 장착하여 연비 평가를 수행하였다. 이때 차량 및 에어컨 시스템은 동일한 환경과 조건을 유지하도록 하였으며 단지 압축기만을 교체하면서 평가를 진행하였다. 완성차 업체에서는 연비 평가를 별도의 환경 풍동에서 차속에 따른 전면 풍속을 동시에 제어하면서 실시하지만 본 실험을 진행한 환경 풍동은 완성차의 각종 성능 평가용으로 제작된 설비로서 일정한 차속에 따른 풍속은 신뢰성 있게 제어하지만 SC03조건과 같은 급작스런 차속에 따른 풍속제어를 할 수 없기 때문에 완성차 업체에서 진행하는 연비 평가 조건을 정확하게 구현하기는 어려운 실정이다.

Table 4 는 본 실험에서 사용한 연비 평가 조건을 나타내고 있으며, 에어컨 냉방 성능 조건을 그대로 활용하여 성능과 연비를 함께 볼 수도 있다.

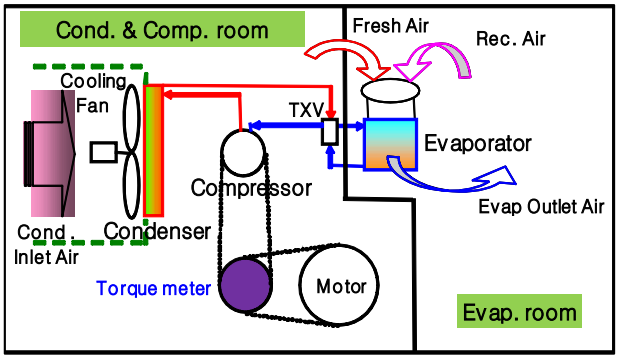

Fig. 4 Schematic of bench stand

Table 2 Specification of compressor

Compressor Type	Variable Swashplate		
Cylinder No.	6		
Max. Displacement(cc/rev)	160	142	126

Table 3 Test condition of SC03 fuel efficiency mode

Top Speed (mph)	Average Speed (mph)	Max. Accel. (mph/sec.)	Simulated Distance (mile)	Time (min.)	Lab temp. (°F)	Vehicle Air -con.
54.8	22	5.1	3.6	9.9	95	On

Table 4 Test condition of vehicle fuel efficiency

Time (min.)	Vehicle		Ambient condition				Air condition	
	Speed (kph)	Gear	Temp. (℃)	Humi. (%RH)	Air flow (kph)	Sun load (w/㎡)	A/C	Blower
30	50	D	45	40	50	1000	On	High
30	100	D	45	40	100	1000	On	High
30	Idle	N	45	40	0	1000	On	High

이번 연구에서는 냉방 성능은 연구 목적상 고려하지 않았으며 압축기 토출 용량 변화와 관계없이 동일한 냉매량과 오일량으로 실험을 수행하였다. 또한 연비 평가 조건도 완성차 업체에서 공인 연비 평가시 사용하는 배기가스 분석을 통한 인증 평가 조건은 아니지만 연료 소비량을 측정하는 방법도 완성차 업체에서 사용 되어지고 있는 조건으로서 압축기 특성에 따른 상호 비교 평가를 위한 조건으로는 충분하다고 판단된다. 평가 진행 중 회전하는 압축기로부터 안정적으로 토크 신호를 받기 위하여 토크 센서와 계측 장비 사이에 슬립링과 노이즈 방지 케이블을 사용하였으며, 스트레인 게이지의 작은 신호를 증폭시켜주는 앰플리파이어를 제작 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 토크 센서

토크 센서를 벤치 장비에서 압축기에 장착하여 에어컨 시스템 상태의 압축기 구동에 따른 토크 변화를 스트레인 게이지를 통하여 전기적 신호로 출력을 하게 된다. 이때의 출력 값과 벤치 장비에서 측정되는 압축기 토크 값을 가지고 토크 센서의 검교정 값으로 삼게 된다. Fig. 5는 본 실험에 사용된 토크 센서의 출력 전기 신호 값과 벤치 장비의 토크 값으로 얻어낸 토크 검량선을 보여주고 있다.

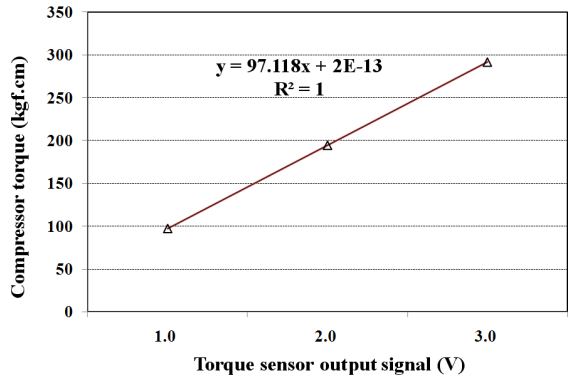

Fig. 5 Torque sensor calibration at bench stand

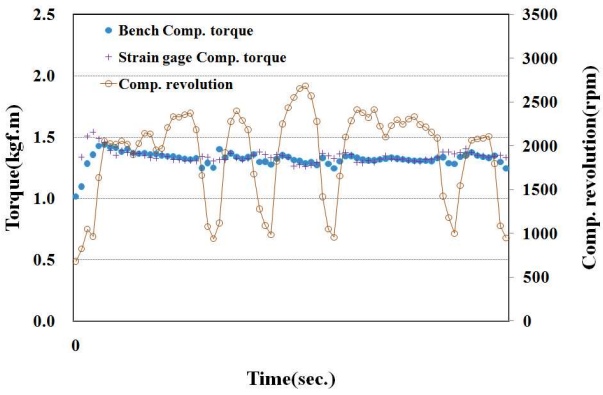

Fig. 6 Torque sensor validation at bench stand

벤치 검교정이 완료된 토크 센서를 실차 상태를 고려한 압축기 회전수가 변화하는 구간에서의 신뢰성 확보를 위해 다시 벤치 장비에 장착하여 SC03 연비 모사 조건에서 토크 값의 변화를 측정하고 벤치 장비의 토크 값을 함께 측정하여 비교하였다. 이때 토크 센서는 검량선 값을 스트레인 게이지 출력 값에 반영하여 토크 값으로 환산 되었다. Fig. 6의 실험 결과에서 보여주듯이 본 실험을 위하여 개발된 토크 센서는 압축기 회전수가 크게 변화할 때에도 벤치 장비에서 측정한 토크 값과 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 전체 측정 구간에서 약 1.2%의 오차를 가지며 충분한 신뢰성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

3.2 실차 연비

벤치에서 신뢰성이 확보된 토크 센서를 실험용 압축기에 조립하고 평가 차량인 소나타 가솔린 엔진에 장착하여 실차 환경 풍동에서 에어컨 연비 평가를 수행하였다. Table 5는 본 실험에 사용된 차량의 엔진 제원을 보여주고 있다.

이때 연비도 동시에 측정 하였으며 주행 거리에 따른 연료 소모량으로 계산하였다. 차속이 없으나 엔진은 계속해서 운전되면서 연료를 소비하는 조건인 Idle 구간은 연비 계산에서는 포함되지 않아

Table 5 Specification of test vehicle engine

엔진형식	배기량	연료	최대출력	최대토크	변속기
I4 2.0	1999 cc	가솔린	172 HP	20.5 kg.m	자동 6단

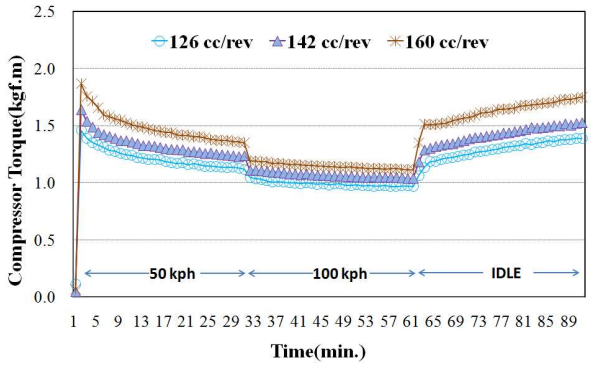

Fig. 7 Variation of compressor torque with real time vehicle speed

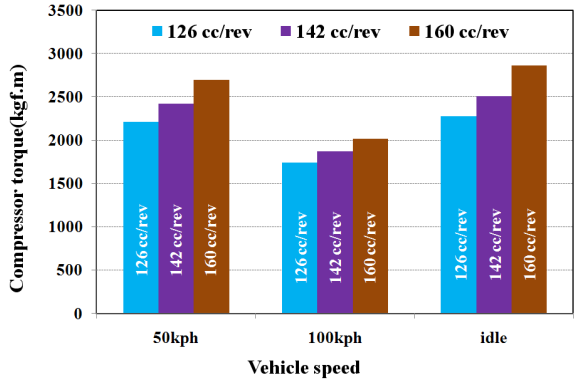

Fig. 8 Comparison of total compressor torque at three vehicle speeds

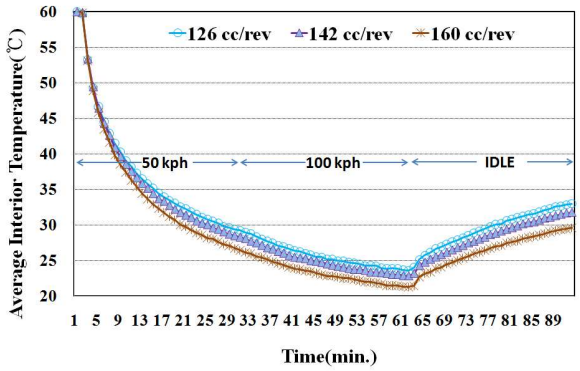

Fig. 9 Variation of average interior temperature with real time vehicle speeds

절대적 기준으로는 연비에 불리하게 작용하게 되지만 본 실험의 목적이 되는 상호 비교 평가에는 영향을 주지 않는다고 판단하였다.

Fig. 7은 평가 시간 전체에 대하여 측정한 압축기 토크 값을 압축기 최대 토출 용량별로 비교한 것이며, Fig. 8은 각각의 차속별로 압축기 토크의 크기를 비교한 것이다. 차량 주행 속도 별 압축기 토크 값은 압축기 토출 용량이 커질수록 평가 전 구간에서 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 7에서 압축기의 토크가 시간에 따라 변화하는 것은 압축기가 해야 하는 일이 시간이 지남에 따라서 변하기 때문이다. 평가 초기에는 외기온이 높은 상태에서 실내 온도를 낮추기 위하여 압축기가 최대 부하로 구동이 되기 때문에 토크가 높으나, 시간이 지나면서 실내 온도가 낮아지게 되면 압축기는 가변 압축 구간으로 구동이 된다. 고속 구간에서는 압축기 회전수가 높기 때문에 상대적으로 적은 부하만으로도 충분한 성능을 낼 수 있기 때문에 토크가 낮게 나타난다. Idle 구간에서는 차속이 가장 낮기 때문에 시간이 지나면서 압축기가 해야 되는 일이 많아지므로 토크가 점점 커지게 된다. 차속

Table 6 Comparison of fuel economy

Displacement (cc/rev)	Fuel Economy (km/L)	Comp. Torque (kgf.m)
160	11.76	7651
142	12.09	6869
126	12.35	6294

50 kph와 Idle 구간의 압축기 토크는 고속 구간인 100 kph에서의 토크와 비교했을 때 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 저속 운전 구간 및 고부하 조건인 Idle 정차 상태에서는 압축기가 최대 토출 용량 구간에서 구동을 하지만, 고속 운전 구간에서는 차량의 실내 냉방 용적 대비 압축기의 압축 능력이 과도한 경우에 해당되어 최대 토출 용량 작동이 아닌 가변 작동으로 압축기가 구동되기 때문이다. Fig. 9는 실차 연비 평가중 측정한 실내 평균 온도 변화를 보여주고 있으며, 평가 시작 전 실내온도가 60℃로 동일하게 시작되었으며, 온도의 변화는 차속별 30분 기준으로 126 cc/rev 대비 142 cc/rev는 약 0.8~1.2℃ 낮아지고, 142 cc/rev대비 160 cc/rev는 약 0.6~1.3℃ 낮아짐을 알 수 있다.

압축기 최대 토출 용량 별로 실험을 진행하면서 소모된 연료량을 가지고 주행 거리비로 계산된 연비 값을 구하였고, 별도 제작된 토크 센서를 통하여 전체 평가 시간에 대한 압축기의 토크 값을 얻었다. Table 6은 본 실험을 통하여 얻어낸 연비 값과 압축기 토크의 전체 시간에 대한 적분 값을 나타낸 것으로 연비는 압축기의 토출량이 커질수록 나빠지는 것을 알 수 있다.

이는 압축기의 최대 토출 용량 즉, 구동 토크가 상대적으로 클수록 동일한 환경 조건에서 엔진의 동력을 더 많이 빼앗게 되고, 빼앗긴 동력을 보상하기 위하여 엔진은 더 많은 출력을 올려야 되며, 이는 곧 더 많은 연료의 소비를 요구하게 되어 연비가 악화되는 것이다.본 실험 결과를 통하여 동일한 외기 환경 조건일 경우 압축기의 구동 토크가 실차 연비에 직접적인 영향을 끼치게 된다는 것을 확인할 수 있게 되었다. 또한 실차 풍동에서 차량에 연료 유량계를 설치하여 측정한 연료 소모량으로 계산된 연비와 압축기에 장착한 토크 센서를 통하여 직접 구동 토크를 받아낸 결과 값으로부터 동일한 차량과 동일한 에어컨 시스템에서 압축기만을 교체하면서 연비 평가를 진행 하였을 때 압축기 토출량이 약 11% 정도 커질 때 연비는 약 2 ~ 3 % 정도 악화됨을 알 수 있었다.

실차 연비 평가에 앞서 벤치 장비에서 세가지 압축기에 대한 SC03 연비 모사 조건에서의 토크

Table 7 Comparison of compressor torque between vehicle and bench test

Displacement (cc/rev)		Comp. Torque(kgf.m)			
		Vehicle		Bench	
160	100%	7651	100%	806	100%
142	89%	6869	90%	728	90%
126	79%	6294	82%	607	75%

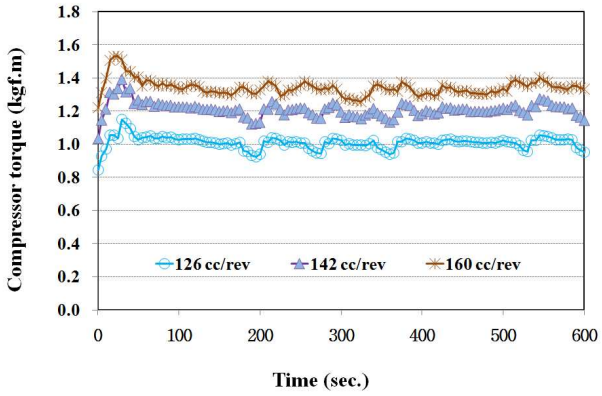

Fig. 10 Test results of SC03 mode at bench stand

값을 측정하였다. 이는 향후에 실차 연비 평가를 벤치에서 대체할 수 있는가의 가능성을 확인하기 위한 실험이다. Fig. 10은 압축기 사양별로 동일한 토크 센서를 이용하여 벤치 장비에서 SC03 연비 모사 조건에 대한 토크를 측정한 값을 보여준다. 압축기 토출용량이 커질수록 토크 값은 커지며 126 cc/rev 대비 142 cc/rev는 약 16.6%정도 토크가 커지고, 142 cc/rev대비 160 cc/rev는 약 9.7% 토크가 커지는 것을 알 수 있다.

실차 연비 평가와 벤치 연비 모사 평가를 진행하면서 측정한 압축기 구동 토크를 비교하여 Table 7에 나타내었다. 고부하 조건에서 벤치는 126 cc/rev와 142 cc/rev간의 토크 차이가 크게 나타나지만 실차에서는 142 cc/rev와 160 cc/rev간의 토크 차이가 상대적으로 더 크게 나타남을 알 수 있다. 조건이 다르기 때문에 절대적인 비교는 할 수 없지만 상대적인 비교를 했을 때 실차 연비와 벤치 연비 모사 시험 결과간에 유사성이 있음을 알 수 있었다. 동일한 에어컨 시스템에서 압축기 만의 변경에 따른 연비 개선 여부는 환경 풍동을 이용하게 되므로 평가 비용이 과다하게 소요되고, 평가용 완성차를 구하기 쉽지 않은 현실을 감안할 때 실차 연비 평가를 벤치 모사 평가로 대체가 가능하다는 결론을 얻었다.

실차 상태 연비 평가를 수행하기 어려운 경우나 실차 연비 평가 결과 값의 차이가 아주 작은 경우에도 에어컨 압축기의 구동 토크를 측정하여 연비 개선 여부를 판정하는 하나의 기준으로 활용할 수가 있음을 확인하였다. 또한 에어컨 냉방 성능 평가의 경우에도 압축기의 구동 토크의 크기 정도를 가지고 가변 작동 여부와 가변의 수준을 가늠함으로서 성능 결과의 분석 및 개선 방향을 설정할 수 있는 중요한 척도로 사용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

실차 환경 풍동에서의 완성차를 이용한 에어컨 연비 평가를 통하여 에어컨 압축기의 최대 토출 용량이 실차 연비에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실차 상태나 벤치 조건에서 압축기의 구동 토크를 직접 측정할 수 있는 토크 센서를 개발하였으며, 압축기 회전수가 크게 변할 때도 높은 신뢰성을 가지고 있음을 확인하였다.

(2) 에어컨 압축기의 최대 토출 용량과 관련이 있는 압축기 구동 토크가 실차 연비에 직접적인 영향을 미친다.

(3) 동일한 차량, 동일한 에어컨 시스템 조건에서 압축기를 최대 토출 용량별로 실차 상태 연비를 비교한 결과 압축기 최대 토출량이 약 11% 커질 때 연비는 약 2~3% 악화된다.

(4) 실차 연비 평가와 벤치 모사 평가의 비교 · 분석을 위하여 동일한 조건에서 압축기만의 변화에 의한 연비 개선 여부는 실차 평가 없이 벤치 모사 평가로도 충분히 대체할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

(1) Kim, D. K., Cho, G. J., Park, J. I. and Lee, J. H., 2007, "Effect of Air Conditioning System on Vehicle Fuel Economy in a Passenger Car," *KSAE*, Vol. 15, No. 1, pp. 16~22.

(2) Cha, Y. W., Byon, S. C., Park, M. H., Kim, J. Y. and Ko, C. S., 2009, "A Study of Subcool Acceleration on Air Conditioning System," *KSAE,* pp. 1372~1377.

(3) Lee, C. W., Kim, J. W., Jang, K. L. and Jeong, G. S., 2010, "Development of Speed Sensitive Air Conditioning System for Fuel Economy and Power Performance," *KSAE*, pp. 1141~1150.

(4) Song, J. H., Kim, D. J., Lee, C. H. and Lee, C. B., 2009, "Simulation of Effect of Vehicle Driving Pattern on Fuel Consumption," *KSAE*, pp. 2039~2044.

(5) Lee, S. I. and Kim, S. J., 2005, "Investigation of

Variable Displacement Swashplate Compressor Effects on Fuel Economy," *KSAE*, Vol. 3, pp. 1824~1832.

(6) Ha, K. P., Gong, J. K. and Kim, W. T., 2006, "Development of Engine Torquemeter for In-vehicle Application and Parametric Study on the Fuel Consumption Contribution," *KSAE*, pp. 77~82.