

루츠식 슈퍼차저의 과급 특성

Supercharging Characteristics of Roots Type Supercharger

이창식*, 이기형*, 최규훈**, 노석홍**, 전문수***, 김대식***
C.S. Lee, K.H. Lee, K.H. Choi, S.H. Noh, M.S. Chon, D.S. Kim

ABSTRACT

The objective of present work is to investigate the performance characteristics of three-lobe Roots type supercharger for the applications of low-compression and high-expansion ratio gasoline engine. A performance test was conducted to obtain the drive power, volumetric efficiency, adiabatic efficiency and the influence of performance factors of supercharger. In order to analyze the supercharging characteristics, the experiments are made on operating parameters such as the supercharger speed, pressure ratio and inlet temperature on the supercharging performance of the Roots type supercharger. Based on experimental results, the drive power and flow rate of supercharger increased with supercharger speed.

주요기술용어 : Roots-type Supercharger (루츠식 슈퍼차저),
Adiabatic Efficiency (단열효율), Volumetric Efficiency (체적 효율),
Supercharging Characteristics (과급 특성)

1. 서론

일반적으로 과급 기술은 엔진의 흡기량을 증가시켜 출력 성능을 향상시키는데 주안점을 두고 있다. 최근에는 배출 가스 저감과 에너지 절약을 지향하여 소배기량으로

출력 성능을 향상시키기 위한 연구의 일환으로 슈퍼차저 적용에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이러한 엔진 과급 기술은 동일한 배기량에 흡기 밀도를 증가시켜 출력 향상을 도모할 수 있을 뿐만 아니라 연비 절감 효과를 기대할 수 있는 특징이 있다. 그러나 가솔린 기관의 경우 과급 압력을 높이면 노크 현상이 수반되므로 이를 억제하기 위하여 압축비 저하, 점화 시기 지연, 중간 냉각 등의 방법이 강구되고 있다. 그러나 압축비를 낮추면 연비가 악화되고,

* 정회원, 한양대학교 기계공학부
** 정회원, 기아자동차(주)
*** 정회원, 한양대학교 대학원

점화 시기를 늦추면 토크가 저하함과 동시에 배기 온도가 상승하는 등의 문제점이 제기되는 원인이 된다.

오토 사이클에서는 압축비를 저하시키면 팽창비도 낮아져서 사이클 효율은 크게 저하한다. 그러므로 흡기 밸브의 닫힘 시기를 제어하여 흡기의 저압축 고폽창비 기관을 실현하면 사이클의 온도를 높이지 않고 과압에 의하여 높은 기관 토크를 얻을 수 있다. 이와 같은 저압축 고폽창비 기관은 과급 시스템의 적용과 동시에 흡기 밸브의 닫힘 시기를 조절하여 실효 압축 행정을 단축시키는 방식을 도입함으로써 압축 온도 저하에 따른 노크의 방지와 흡기 밸브 닫힘 시기 및 부하 조절에 의한 펌프 손실을 저감시켜 연비 특성의 저하 없이 고효율을 얻을 수 있는 매우 효과적인 시스템이다^(1~2).

수퍼차저에 관한 연구로는 가솔린 기관에 수퍼차저를 적용하여 성능 특성을 구한 Lee 등의 연구⁽³⁾를 비롯하여 Singer⁽⁴⁾에 의한 수퍼차저와 터보차저의 성능 비교에 관한 연구, Kiyota 등⁽⁵⁾의 수퍼차저를 적용한 V-6 실린더 기관의 개발 등 여러 연구자들에 의하여 많은 연구들이 보고되고 있다. 그러나 수퍼차저를 저압축 고폽창비 기관에 적용하여 기관 성능 특성을 개선한 연구는 많지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저압축 고폽창비 기관에 적합한 수퍼차저의 유량 및 압력 특성을 파악하여 루츠식 수퍼차저의 성능 변수들의 영향을 규명하는 것을 연구 목표로 한다. 수퍼차저의 성능은 수퍼차저의 구동 동력, 단열 효율과 체적 효율, 과급 압력 및 온도 특성 등을 압력비와 회전 속도 변화에 대하여 실험적으로 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 수퍼차저

본 연구에서는 수퍼차저 구조가 비교적 간단하고 신뢰성이 높으며, 2000cc급 이하의 기관에 적용할 수 있는 루츠식 수퍼차저를 적용하여 실험하였다. 수퍼차저의 형식은 3엽식 루츠식(Roots type)이며, 수퍼차저 1회전당 송출 유량은 0.75L/rev, 최대 속도와 최대 구동 동력은 각각 1500rpm, 19kW 이고, 최대 송출 공기 온도는 176℃이다.

3엽식 루츠식 수퍼차저는 서로 반대 방향으로 회전하는 2개의 3엽식 로터가 케이싱 내에서 회전하면서 흡기를 엔진 쪽으로 압송하는 장치이다. 로터를 둘러싸고 있는 케이싱의 축방향 길이는 371mm, 케이싱의 높이는 122mm이고 회전하는 구동 및 피동 로터의 로브는 3엽식의 것을 사용하였다.

2.2 수퍼차저의 성능 실험 장치 및 실험 방법

Fig. 1은 수퍼차저의 단체 성능을 실험하기 위하여 설계·제작한 수퍼차저 전용 성능 실험 장치의 구성과 그 계통도를 나타낸 것이다.

수퍼차저는 30PS의 출력을 갖는 3상 AC

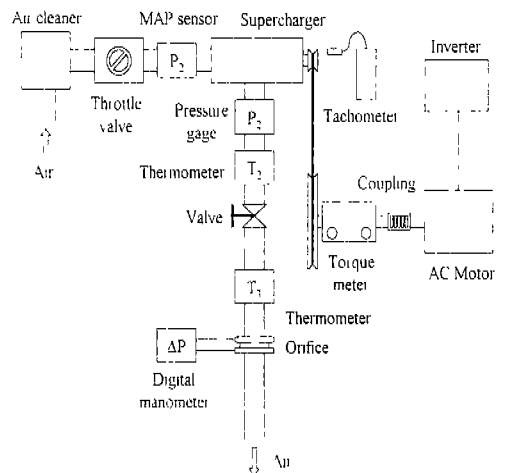


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

진동기와 벨트 전동으로 하였으며, 인버터를 이용하여 구동 전동기의 회전 속도를 조절하였다. 이 때 수퍼차저의 구동 토크는 토크변환기(10kg·m : Kyowa)를 사용하여 측정하였으며 구동 전동기와 토크 변환기 사이에는 편심 및 회전 불균형을 흡수할 수 있는 커플링을 설치하였다. 공기의 온도와 압력은 수퍼차저 전후에서 측정하였으며, 수퍼차저 전의 압력은 실차용 매니폴드 압력 센서를 사용하여 측정하였다. 또한 수퍼차저의 과급 압력은 디지털 마노미터를 이용하여 측정하였고, 수퍼차저의 송출 유량은 오리피스 전후의 차압을 측정하여 계산하였다. 수퍼차저의 체적 효율은 실제 흡입 공기량과 수퍼차저의 이론 공기량으로부터 산출하였다. 그리고 수퍼차저의 단열 효율은 이론 압축일과 수퍼차저의 구동 동력을 측정하여 계산하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 수퍼차저의 구동 동력

수퍼차저 회전 속도를 3,000rpm으로부터 9,000rpm까지 변화시킨 경우의 입·출구의 압력비(P_d/P_s ; P_s :입구 압력, P_d :출구 압력)의 변화에 따른 수퍼차저의 구동 동력과의 관계를 Fig. 2에 도시하였다. 이 선도에서 보는 바와 같이 수퍼차저의 압력비가 증가함에 따라 구동 동력은 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 수퍼차저의 회전 속도가 증가할수록 구동 동력의 증가속이 커지는 경향을 나타내었다. 수퍼차저의 축동력을 $N(PS)$, 축토크를 $T(kN \cdot m)$, 회전 속도를 $n(rpm)$ 이라고 하면 $N = 0.033 \pi nT$ 로 표시되므로 회전 속도의 증가는 수퍼차저의 구동 동력을 증가시키는 요인이

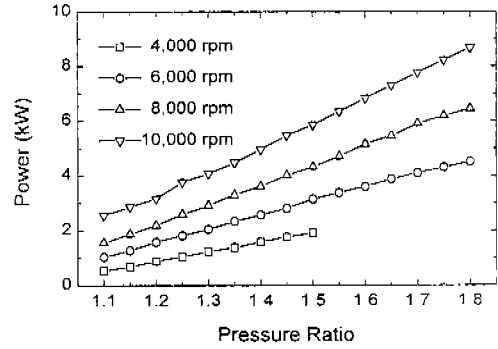


Fig. 2 Effect of supercharger speed on driving power and pressure ratio

된다. 이론적으로 보면 수퍼차저의 이론적인 구동력 N_{th} 는 수퍼차저 입구 압력(P_s)과 출구 압력(P_d)의 비($P_r = P_d/P_s$)에 따라서 변화하므로 압력비 P_r 의 증가는 수퍼차저의 압축일을 증가시키는 가장 큰 인자가 된다.

한편 Fig. 3은 수퍼차저의 압력비가 유량 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수퍼차저의 회전 속도를 증가시켰을 경우 유량의 변화를 측정하여 도시한 것이다. 이 선도에 나타난 바와 같이 수퍼차저의 압력비가 증가할수록 송출 유량은 감소하며, 동일한 압력비에서는 회전 속도가 증가할수록 유량은 현저하게 증가하는 경향을 나타내었

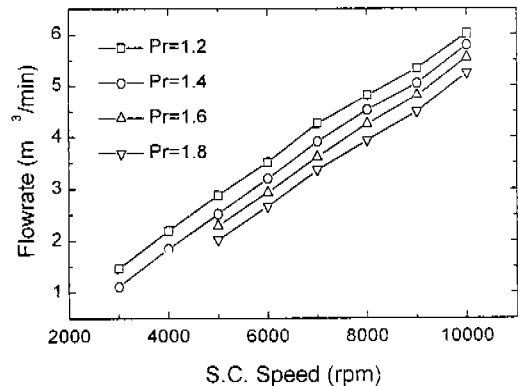


Fig. 3 Effect of pressure ratio on flow rate and supercharger speed

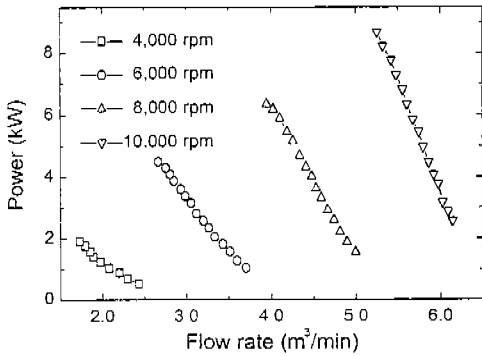


Fig. 4 Effect of supercharger speed on flow rate and power

다. 이와 같이 압력비의 증가는 수퍼차저의 구동 동력을 증가시키고 송출 유량을 감소시키기 때문에 적용 기관의 설계 목적에 부합하는 적절한 압력비의 선정이 매우 중요한 것으로 생각된다. 따라서 회전 속도와 압력비 변화에 따른 수퍼차저의 구동 동력 특성을 파악하는 것은 대단히 중요하다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 수퍼차저의 회전 속도 변화에 따른 유량과 구동 동력 그리고 압력비와의 관계를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 도시하였다.

이들 선도에서 보는 바와 같이 동일 회전 속도의 경우, 압력비가 높을수록 구동 동력은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이

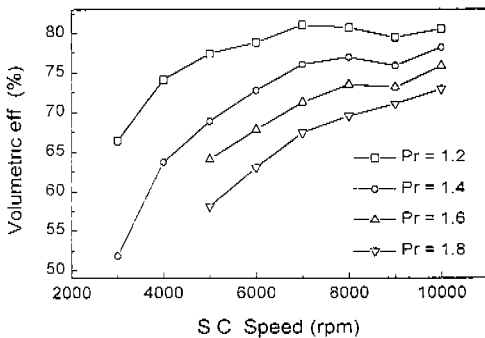


Fig. 6 Volumetric efficiency as a function of pressure ratio of supercharger

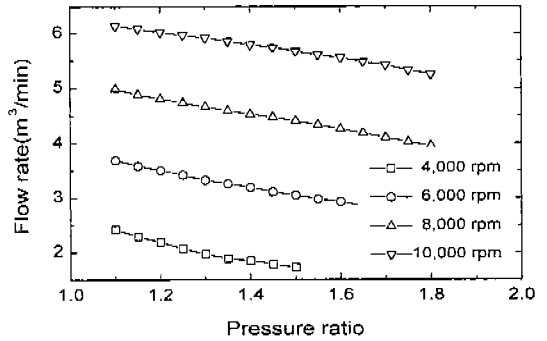


Fig. 5 Effect of supercharger speed on flow rate and pressure ratio

것은 Fig. 3에서 설명한 바와 같이 압축 소요일의 증가에 의하여 나타나는 현상으로 Lee 등(3)의 연구에서 제시된 2엽식 루츠 파급기의 연구 결과와 일치하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 이러한 결과들은 구동 손실이 적으면서 압력과 유량 특성이 뛰어난 운전 영역 선정에 필요한 구동 동력 및 유량의 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

3.2 수퍼차저의 체적효율과 단열효율

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 압력비 변화에 따른 수퍼차저의 체적 효율과 단열 효율을 회전 속도의 변화에 대하여 나타낸 선도이

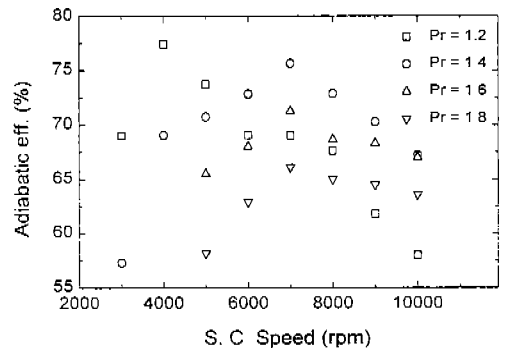


Fig. 7 Adiabatic efficiency as a function of pressure ratio of supercharger

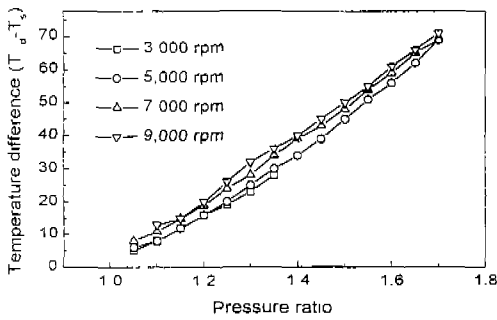


Fig. 8 Effect of supercharger speed on temperature difference and pressure ratio

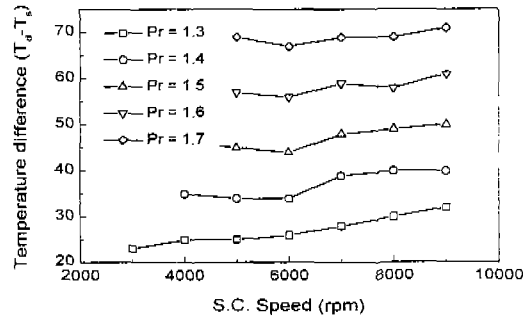


Fig. 9 Effect of pressure ratio speed on temperature difference and supercharger speed

다. 수퍼차저의 회전 속도가 증가함에 따라 체적 효율은 증가하다가 어느 회전 속도 범위를 지나면서 일정해지는 경향을 나타내었다. 수퍼차저의 단열 효율은 저속 회전시(5,000rpm미만)에는 압력비 1.3 미만의 낮은 압력비 영역에서 높게 나타나고, 5,000~8,000rpm 사이의 회전 속도에서는 1.4~1.5 정도의 압력비 영역에서 구동되는 것이 가장 효과적인 영역으로 나타났다. 또한 9,000rpm 이상의 고속에서는 1.6 정도의 압력비에서 구동되는 것이 단열 효율 면에서는 가장 효과적이라고 보여진다. 그러나 압력비를 1.8 이상으로 올릴 경우에는 구동 동력의 증가로 인하여 단열 효율이 큰 폭으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

3.3 회전속도에 따른 압력 및 온도 특성

수퍼차저의 회전 속도 변화에 따른 흡입 온도 상승에 따른 온도차를 Fig. 8에 나타내었고, 압력비 증가에 따른 흡입 온도 상승에 따른 온도차를 Fig. 9에 나타내었다. 회전 속도가 일정할 때 압력비(P_r)가 높을수록 송출구측의 온도가 상승하는 경향을 나타내고 있으며, 온도 상승은 압력비가 높을수록 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 송출구측의 온도 상승은 흡입 공기의 밀도 증가에 기인하며 이러한 현

상은 기관 연소가스 온도 상승 효과를 초래할 것으로 생각된다. 따라서 중간 냉각 장치 등 흡입 공기의 온도 상승을 억제하기 위한 방법이 강구되어야만 흡기 온도 상승에 따른 체적 효율의 저하를 방지할 수 있다. 이와 같이 흡기 온도 상승은 노크의 발생에 가장 큰 영향을 미치는 인자의 하나이므로 과급 기술의 적용에는 반드시 제어해야 할 중요한 요소임을 알 수 있다.

4. 결 론

저압축 고펙창비 기관에 적용할 루츠식 수퍼차저의 성능 및 과급 특성을 실험적으로 측정된 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 수퍼차저의 구동 소요 동력은 압력비가 증가할수록 증가하며, 또한 수퍼차저의 회전 속도가 증가할수록 소요 동력의 증가폭은 현저하게 증가하는 경향을 나타내었다.
2. 수퍼차저의 단열 효율은 압력비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 가지며, 압력비 1.1~1.3의 범위에서는 4,000~5,000 rpm일 때 최대로 되며, 압력비 1.5~1.8의 경우에는 수퍼차저의 회전 속도가 증가하여도 단

열 효율은 크게 변하지 않고 일정한 경향을 나타내었다.

3. 수퍼차저 입구와 출구의 온도차는 압력비와 회전 속도가 증가할수록 증가하는 경향을 갖는다. 그러나 회전 속도 증가의 영향보다는 압력비의 영향이 큰 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 차세대 자동차 기술 개발 사업의 지원하에 수행된 결과의 일부로서 연구를 지원하여 주신 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. M. Hitomi, J. Sasaki, and Y. Yano,

"Mechanism of Improving Fuel Efficiency by Miller Cycle and Its Future Prospect" , SAE paper 950974, 1995.

2. N. Ueda and H. Sasaki, "A Naturally Aspirated Miller Cycle Gasoline - Its Capability of Emission, Power and Fuel Economy" . SAE paper 960589, 1996.

3. C. S. Lee, K. H. Lee, D. H. Whang, S. W. Choi, and H. M. Cho, "Supercharging Performance of a Gasoline Engine with a Supercharger" , KSME International Journal, Vol. 11, No. 5, pp.556~564, 1997.

4. David A. Singer, "Comparison of a Supercharger vs a Turbocharger in a small Displacement Gasoline Engine Application" , SAE paper 850244, 1985.

5. Y. Kiyota, T. Fukui, H. Ando, and T. Okada. "Development of Supercharged V-6 Engine" , JSME Review, Vol. 10, No. 1, pp.12~17. 1989.