

커먼레일 디젤기관의 인터쿨러 대체를 위한 볼텍스 튜브 적용 특성에 관한 실험 연구

임 석 연¹⁾ · 이 호 길¹⁾ · 정 영 철²⁾ · 최 두 석^{*2)} · 류 정 인³⁾

충남대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부²⁾ · 충남대학교 기계공학과³⁾

An Experimental Study on Application Characteristics of the Vortex Tube for Substitution of the Intercooler in a Common-rail Diesel Engine

Seokyeon Im¹⁾ · Hokil Lee¹⁾ · Youngchul Jung²⁾ · Dooseuk Choi^{*2)} · Jeongin Ryu³⁾

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea

(Received 18 September 2008 / Accepted 11 November 2008)

Abstract : An object of this study is to confirm application characteristics of the vortex tube apparatus for substitution of the intercooler in a common-rail diesel engine. The turbo pressure, the intake air mass flow rate and the charging air cooling ratio of the intercooler were measured in an experimental engine. The vortex tube apparatus was made after confirmation of the geometric phenomena in fundamental experiments. The vortex tube designed with fundamental data was applied to a conventional common-rail diesel engine instead of the intercooler. Its application characteristics, engine performances and emissions were investigated. From this experimental results, we suggested the vortex tube can be applied to a conventional common-rail diesel engine throughout extra complement. We can also expect the higher cooling effect, if we consider the application of the vortex tube in supercharging diesel engine without the intercooler.

Key words : Vortex tube(볼텍스 튜브), Common-rail diesel engine(커먼레일 디젤기관), Turbo intercooler(터보 인터쿨러), Wastegate turbocharger(웨스트 게이트 터보차저), Energy separation(에너지 분리)

1. 서 론

현대 사회는 화석연료의 과다한 사용으로 인하여 대기환경오염과 지구 온난화에 직면해 있다. 1990년대 접어들면서 자동차가 대기환경오염의 주범으로 인식되어 자동차의 배출가스 규제는 더욱 강화되고 있는 실정이다.

특히, 디젤 엔진은 신기술들의 개발로 인해 친환경적으로 발전하고 있으나, 현재 각국의 배출가스

규제는 더욱더 강화되고 있어 그 대응기술의 개발은 점점 더 어려워지고 있는 실정이다. 디젤엔진의 성능 향상을 위한 기술로서 과급방식엔진(supercharging engine)은 기관의 흡입 행정 시 흡입되는 공기를 강제적으로 압축하여 연소실로 공급함으로써 자연흡기방식엔진(naturally aspirated engine)에 비해 충전효율을 향상시켜 기관의 출력을 향상시킨다. 그러나 흡입공기가 과급장치에 의해 압축될 때 과급공기의 온도가 상승되어 부피가 팽창되기 때문에 과급공기가 2배 정도 압축되었다 하더라도 실제로

*Corresponding author, E-mail: dschoi@kongju.ac.kr

흡입되는 공기량은 약 1.6배 정도 밖에 되지 않는다. 그러므로 이 과급공기를 냉각시켜 엔진의 충전 효율을 증대시켜야만 실제로 큰 엔진 출력을 얻을 수 있게 되기 때문에 과급된 고온의 과급공기 냉각을 위해 인터쿨러(intercooler)를 설치한다. 인터쿨러를 설치함으로써 연소실로 유입되는 흡입공기량이 증대됨으로 연소효율이 향상되고 엔진의 출력 향상을 도모할 수 있게 된다. 또한, 인터쿨러를 사용하여 과급된 흡입공기 온도를 낮추게 되면 연소 온도가 저하되어 질소산화물(NOx) 발생이 저감되고, 연소 및 배출가스 온도가 낮아져 엔진의 열부하가 경감되고 급기 비중이 증가함에 따라 과급 압력을 낮출 수 있어 과급기의 부하를 줄일 수 있다.^{1,2)}

일반적으로 인터쿨러는 자동차의 주행 시 외기에 의해 과급된 흡입공기를 냉각시킨다. 이러한 공냉식 인터쿨러(air cooled type intercooler)는 주행공기에 의해 과급공기를 냉각시키기 때문에 구조는 간단하지만 차량의 주행속도가 느리게 되면 냉각효율은 떨어지게 된다. 이에 반해 냉각수에 의해 과급공기를 냉각시키는 수냉식 인터쿨러(water cooled type intercooler)는 엔진의 냉각용 라디에이터 또는 전용의 라디에이터에 냉각수를 순환시켜 과급공기를 냉각시키기 때문에 냉각에 한계점이 있다. 이러한 방법은 선박용 엔진 및 발전기 등과 같은 정지형 기관(stationary engine)에 주로 사용하게 되는데, 만약 고온의 과급공기를 냉각시키는 엔진 냉각수의 온도보다 과급공기를 낮출 수 있는 방법이 강구된다면 보다 더 향상된 연소효율, 엔진 출력 및 배출가스 특성을 기대할 수 있을 것이다.

볼텍스 튜브(vortex tube)^{3,4)}는 회전체와 실린더와 같은 어떠한 동력 요소 없이 단지 장치내의 선회운동에 의해 압축공기를 뜨거운 공기와 차가운 공기로 에너지를 분리할 수 있는 간단한 장치이다.

볼텍스 튜브의 에너지 분리 현상에 대한 명확한 규명은 아직 완전하게 정립되지 않고 있으나, 보편적으로 받아들여지고 있는 이론은 Fulton⁷⁾이 제안한 것으로 Fig. 1과 같이 자유 볼텍스와 강제 볼텍스 영역으로 설명된다. 압축된 유체는 관의 접선방향의 노즐을 빠른 속도로 통과하는데 노즐 벽면 쪽은 상대적으로 속도가 느리고 중심 부분은 빠른 속도

를 갖는 “자유 볼텍스”(ω²=const.)가 형성된다. 이때 유동이 스스로 밸브를 향하여 진행하면서 자유 볼텍스는 유체 층 사이의 마찰로 볼텍스 튜브의 중심부에서 “강제 볼텍스”(ω=const.)로 변화한다.

이러한 유동형태의 변화로 인하여 관의 중심에서 벽면 방향으로 운동량 전달이 일어나게 되어 볼텍스 중심이 외부 층 보다 더 냉각된다. 그러나 에너지 균형을 이루기 위하여 열이 내층으로 이동하지만 운동량 전달이 열의 이동보다 더 크므로 외부 층의 공기는 정체온도(static temperature)가 상승되어 고온 유동으로 되면서 스스로 밸브를 통해 유출된다. 이때, 내부 층의 유체는 받은 열에너지보다 더 큰 운동량을 잃음으로 더 낮은 온도가 되고, 입구온도보다 낮은 저온 유동이 되어 저온출구 오리피스를 지나 외부로 배출된다.

볼텍스 튜브 내에서의 에너지 흐름은 Fig. 2에 나타내었다. 반경방향의 화살표는 에너지 분리 현상의 결과로서 일어난 운동량의 흐름을 나타내며, 실선은 볼텍스 튜브 중심축을 중심으로 회전하는 공기의 회전면을 나타낸다. 에너지 분리가 진행되는 동안 튜브내면에는 최대 벽면온도(T_{w,max})가 나타나는데, 이 점에서 저온공기와 고온공기의 분리가 완전히 나누어지게 되며 에너지 분리는 더 이상 일어나지 않는다. Fulton⁵⁾은 이점을 정체점(stagnation point)이라 하였으며, 정체점에서의 튜브내면 온도가 스스로 밸브를 통과한 공기의 온도보다 더 높고, 저온공기 질량유량의 증감에 따라 정체점이 좌우로 이동된다고 하였다.

따라서 이러한 에너지 분리특성이 있는 볼텍스 튜브를 인터쿨러 장치 대응으로 적용한다면 공냉식 인터쿨러의 저속구간에서의 낮은 과급 공기 냉각효율과 수냉식 인터쿨러의 과급 공기 냉각효율에 비해 높은 냉각효율을 얻을 수 있어 엔진의 충전효율을 향상시킬 수 있을 것이다.

현재 사용되고 있는 인터쿨러 장치의 단점을 극복하기 위하여 볼텍스 튜브의 기하학적 형상에 따른 에너지 분리특성을 확인하여 최적의 조건을 찾아 대형 볼텍스 튜브의 에너지 분리특성을 확인^{6,8)}하여, 실제 상용되고 있는 터보 인터쿨러가 장착된 커먼레일 디젤기관에 적용하였다.

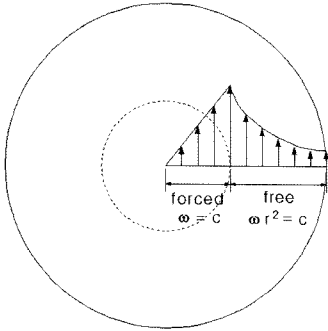


Fig. 1 Cross section of the vortex tube in “free” and “forced” vortex flow⁵⁾

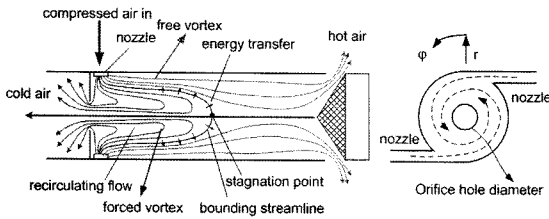


Fig. 2 Schematic flow pattern of vortex tube

따라서 본 논문은 커먼레일 디젤기관의 인터쿨러 대체를 위한 볼텍스 튜브를 실제 커먼레일 디젤기관에 적용하여 기관 성능 특성 및 배출가스 특성을 파악하여 대체 가능성을 확인하는데 그 목적을 두고 있다. 또한 수행된 실험이 공냉식 인터쿨러 조건에서 이루어졌기 때문에 선박 엔진 및 발전기 등과 같은 정치형 기관에서 사용되는 수냉식 인터쿨러 조건과는 직접적으로 비교 할 수는 없었지만, 관련 데이터를 확인하여 공냉식 및 수냉식 인터쿨러 적용 디젤기관에서의 인터쿨러 대체 가능성을 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

인터쿨러 대체를 위한 볼텍스 튜브 장치의 제작은 저온공기의 에너지 분리효율을 극대화할 수 있도록 선행연구^{6,7)}를 통해 볼텍스 튜브 장치의 기하학적 형상을 확인한 후 제작하였다. 제작된 볼텍스 튜브 장치의 상세 치수는 Table 1과 같다.

기관적용을 위한 실험기관은 터보차저 인터쿨러가 장착된 수냉식, 4행정, 4기통 배기량 2,000cc의 커먼레일 디젤기관으로서 주요제원은 Table 2와 같고,

실험에 사용된 기관 성능 및 배출가스 측정 장치와 장치 개략도는 Table 3과 Fig. 3에 각각 나타내었다.

기관적용 실험은 기관의 회전속도를 일정하게 한 후 기관부하를 가변시키는 방법으로 수행되었고, 엔진동력계는 와전류 동력계(eddy current dynamometer ; Hwanwoong Co. Ltd, 130kW)가 사용되었다.

볼텍스 튜브의 성능특성과 기관적용 실험은 커먼레일 디젤기관의 실제 작동구간⁹⁾을 고려하여 기관

Table 1 Dimensions of vortex tube (unit : mm)

Items	Specifications
Tube length (L)	930
Tube inner diameter (D)	65.9
Nozzle diameter (d _n)	8.8
Cold end orifice (d _c)	37
Nozzle holes (H _n)	6
Nozzle area ratio (S _n)	0.164

Table 2 Specifications of test engine

Items	Specifications
Combustion chamber	Direct injection
Engine model	4 - stroke/DI
Total displacement(cc)	1991
Bore × stroke (mm)	83× 92
Compression ratio	17.7 : 1
Maximum power (ps/rpm)	115/4000
Maximum torque (kg.m/rpm)	26.5 / 2000
Turbocharger type	WGT

Table 3 Specifications of measurement equipment

Items	Specification
Dynamometer	Hwanwoong Co. Model DYTEK-130 Absorption torque : 343N · m Absorption power : 130kW
Rotary encoder	Omron Co. type E6B2-CWZ3E
Load cell	Jungwoo Co. type JW-U2SB
Pressure transducer	Kistler Co. type 6052B Piezo electric pressure transducer
Charge amplifier	Kistler Co. type 5011B
Fuel flow meter	AND Co. type HF-2000GD Capacity : 2100g, resolution : 0.01g
Smoke meter	Eplus-T Co. type OP-120 Measurable range : 0%~100% opacity
NOx analyzer	MAHA GmbH & Co. KG type MGT 5 Measurable range : 0~5,000ppm ± 20ppmvol Measure type : chemiluminescence

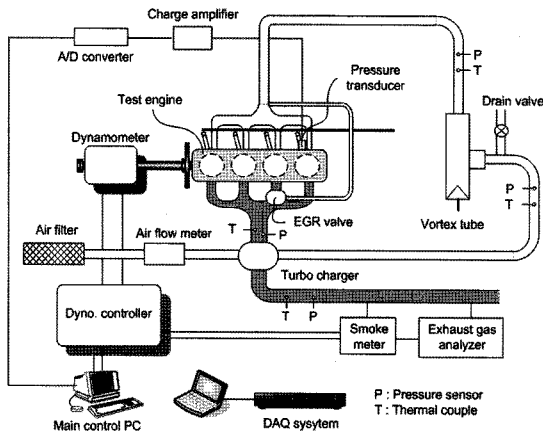


Fig. 3 Schematic of experimental apparatus for application to experimental engine

회전수 1,250rpm~2,500rpm까지 250rpm 간격으로 하고, 기관부하는 최대토크를 기준으로 하여 25%, 50%, 75% 및 100%의 조건에서 수행되었다.

기관적용 실험 장치에 장착한 열전대와 압력변환기는 예비실험을 통하여 보정하였고, 볼텍스 튜브의 에너지 분리특성에 영향을 주는 저온공기유량을 조절 시 터보차저에 의해 과급된 공기가 볼텍스 튜브로 공급된 후 터보과급 공기유량 변동이 없도록 충분한 시간을 두고 스로틀 밸브를 조절하였으며 온도 측정 또한 각 측정 부위의 온도가 정상상태 ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)에 도달한 뒤에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 볼텍스 튜브의 기관적용 성능특성

Fig. 4는 실제 디젤기관의 작동조건인 기관회전수 1,250rpm~2,500rpm 영역에서 기관부하에 따라서 인터쿨러와 볼텍스 튜브에 의한 과급공기의 냉각율을 비교한 것이고, Fig. 5는 터보차저에 의해 과급된 공기의 압력과 볼텍스 튜브를 통과한 후 냉각된 공기의 압력을 나타낸 것이다.

Fig. 4를 보면, 실제 기관에서 인터쿨러의 냉각율은 기관회전수, 기관부하가 증가하면서 냉각율이 증가하였으나, 적용된 볼텍스 튜브에 의한 과급공기의 냉각율은 인터쿨러와 비교하여 기관부하가 증가할수록 냉각율은 동일하거나 약간 저하되었고, 기관부하 75%까지는 증가되었으나 기관부하 100%

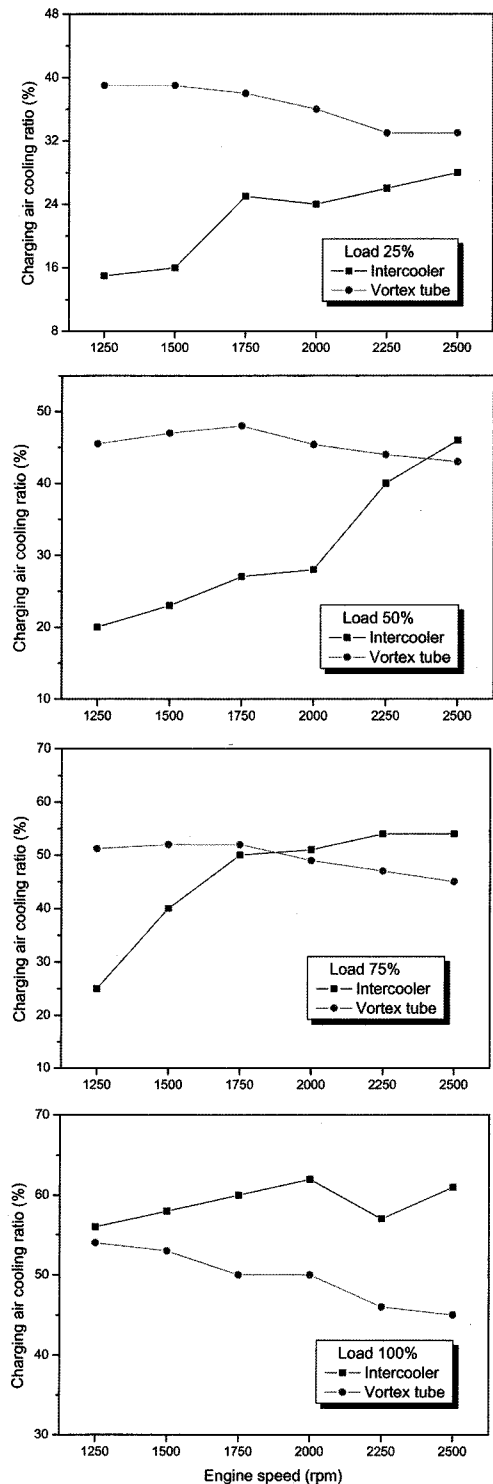


Fig. 4 Comparison of charging air cooling ratio between the intercooler and the vortex tube applied to engine

일 경우에는 오히려 저하됨을 보이고 있다. 이는 인터쿨러에 의한 냉각시스템은 비록 수냉 장치에 의해 냉각이 되지만 과급유량과 과급온도가 낮기 때문에 실제 기관으로 냉각되어 공급되는 온도는 과급온도보다 냉각율이 크지 않은 것으로 생각되고, 볼텍스 튜브에 의한 과급공기의 냉각은 과급된 공기가 튜브로 공급되면서 볼텍스를 생성하는 노즐의 면적 감소로 인하여 인터쿨러 적용 시 보다 볼텍스 튜브에 공급되는 과급공기의 압력이 상승하여 볼텍스 튜브의 에너지 분리효율이 증가하기 때문에 과급공기의 냉각율이 더 증가하는 것으로 사료된다.

실험을 통해 볼텍스 튜브에 의한 과급공기의 냉각율은 저회전수 및 저부하 영역에서 인터쿨러에 의한 냉각율보다 최대 22%정도 냉각율 증가를 보였으나, 기관회전수 2,500rpm, 기관부하 50%와 기관부하 75% 이상의 경우 기관회전수 2,000rpm 이상의 조건부터는 오히려 냉각율이 인터쿨러 경우보다 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이는 Fig. 5에 보인 것처럼 터보차저에 의해 과급된 공기가 원활하게 연소실까지 과급압력을 유지하면서 공급되어야 하지만, 볼텍스 제너레이터의 노즐 면적이 볼텍스 튜브 입구면적에 비해 감소됨에 따라 볼텍스는 더 크게 발생시키지만 연소실로 공급되는 유량이 감소되어 기관의 토크를 저하시키기 때문에 이를 방지하기 위해서 저온공기 유량비(yc)를 최대로 하였기 때문에 고회전수 및 고부하 영역에서 과급공기의 냉각율이 감소된 것으로 사료된다.

Fig. 5를 보면 터보차저 부스트압력은 모든 영역에서 감소되는 것을 볼 수 있는데, 이는 전술한 바와 같이 볼텍스 튜브 생성을 위한 노즐면적이 입구면적에 비해 감소되어 발생하는 유동저항과 고온출구로의 고온공기 유출 등으로 인하여 연소실로 공급되는 과급공기의 압력이 저하된 것으로 사료된다.

3.2 기관 성능 특성

Fig. 6은 커먼레일 디젤기관에 인터쿨러와 볼텍스 튜브 적용 시 기관토크를 비교한 것이다.

적용 실험은 실험기관의 작동구간을 고려하여 기관회전수 고정모드에서 기관부하를 각각 25%, 50%, 75% 및 100%로 제어하는 방식으로 실험하였

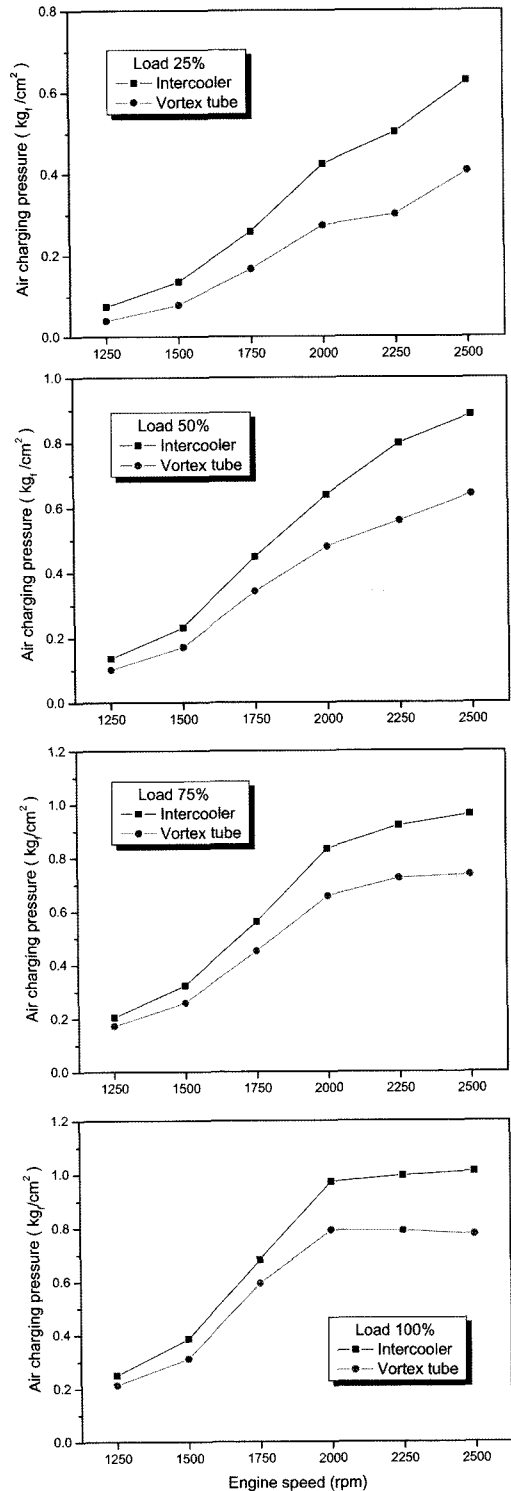


Fig. 5 Comparison of air charging pressure depression by the vortex tube in application to engine

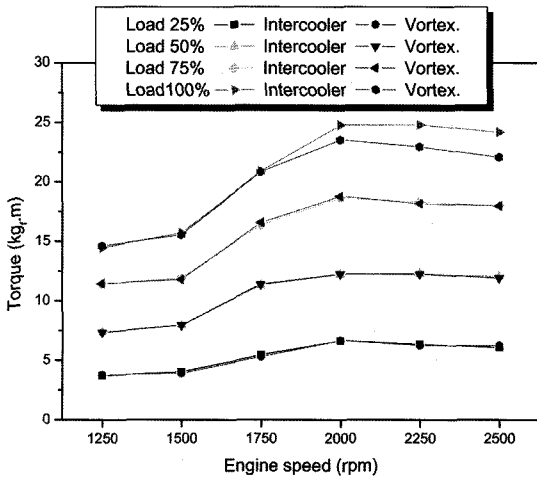


Fig. 6 Comparison of torque between the intercooler and the vortex tube applied to engine

기 때문에 부분부하 조건에서의 기관토크는 비슷한 값을 보이고 있다. 그러나 100% 부하조건에서는 2,000rpm 이후부터 기관토크가 저하되어 2,500rpm 에서는 인터쿨러 적용대비 최대 8% 정도 저하율을 보이고 있다. 이는 Fig. 4와 Fig. 5에서 나타난 과급공기 냉각율과 공기 과급압력의 저하에 따른 연소실 내 흡입공기량 감소로 기인된 연소악화 때문이라 생각된다.

비록 전 구간에서 공기 과급압력은 볼텍스 튜브에 의해 저하되었으나, 저회전수 및 저부하 영역에서는 인터쿨러에 비해 높은 과급공기 냉각율에 따른 충전효율 증가와 연소실에서 볼텍스 튜브에 의한 스웰강도 증가에 의해 연소가 촉진되어 기관 토크를 유지할 수 있었고, 상대적으로 고회전수 및 고 부하 영역에서는 과급공기 냉각율이 인터쿨러에 의한 값보다 오히려 저하되었기 때문에 기관의 토크가 감소된 것으로 사료된다.

Fig. 7은 커먼레일 디젤기관과 인터쿨러 대체를 위한 볼텍스 튜브 적용 시의 제동연료소비율(BSFC)을 비교하여 나타낸 것이다.

볼텍스 튜브 적용 시 제동연료소비율은 기관부하 25% 경우 최대 3%, 기관부하 50%인 경우 최대 2.5% 이고 기관부하 75% 경우에는 1.5% 정도 개선효과를 보이고 있으나, 기관부하 100% 조건에서는 오히려 최대 5.5% 정도 악화되었다.

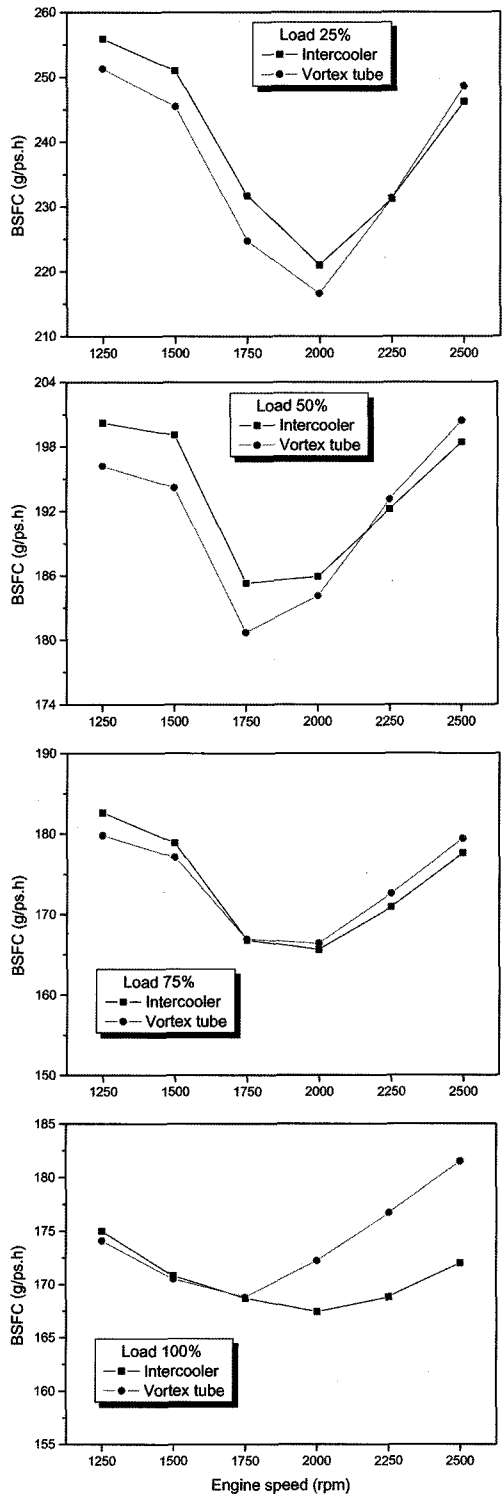


Fig. 7 Comparison of BSFC between the intercooler and the vortex tube applied to engine

기관회전수가 증가함에 따라 제동연료소비율 개선효과는 저하되었으며, 기관회전수 2,250rpm 이상의 경우에는 모든 구간에서 제동연료소비율이 악화되었고, 기관부하가 증가할수록 제동연료소비율이 악화되는 기관회전수는 저회전수 영역쪽으로 이동되는 것도 확인할 수 있었다. 그 이유는 상대적으로 저회전수 및 저부하 영역에서는 볼텍스 튜브에 의한 과급공기 압력감소량보다 과급공기 냉각을 효과가 더 크게 되어 제동연료소비율이 개선되는 효과를 보였지만, 기관회전수 및 기관부하가 증가됨에 따라 기관에서 요구되는 흡입공기량이 증가되기 때문에 볼텍스 튜브에 의한 개선효과보다 과급공기량 부족에 의한 연소악화 때문으로 생각된다.

또한, 연소실로 공급되는 과급공기 압력이 전반적으로 감소되었음에도 불구하고 기관의 제동연료소비율이 저회전수나 저부하 영역에서 개선되는 효과를 볼 수 있었던 이유로는 Photo 1에 나타난 것처럼 볼텍스 튜브에 의해 발생된 강한 와류가 연소실까지 공급되는 동안 유지되어 연소실에서 강한 스월 효과를 일으켜 연소가 촉진되어 제동연료소비율이 악화되지 않고 향상된 것으로 사료된다.

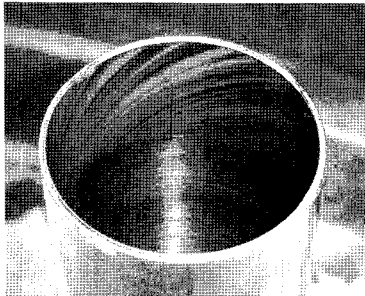


Photo. 1 Photograph of swirl shape generated by the vortex generator

3.3 배출가스 특성

Fig. 8은 커먼레일 디젤기관에서 볼텍스 튜브 적용에 따른 매연 특성을, Fig. 9는 질소산화물 배출 특성을 각각의 조건에 대하여 나타난 것이다.

매연의 경우, 기관부하 50%까지는 최대 20% 정도의 저감효과를 보였으나 기관부하가 증가할수록 오히려 매연 배출량이 증가되어 기관부하 100%, 기관회전수 2,250rpm 경우에는 약 28%의 증가량을 보

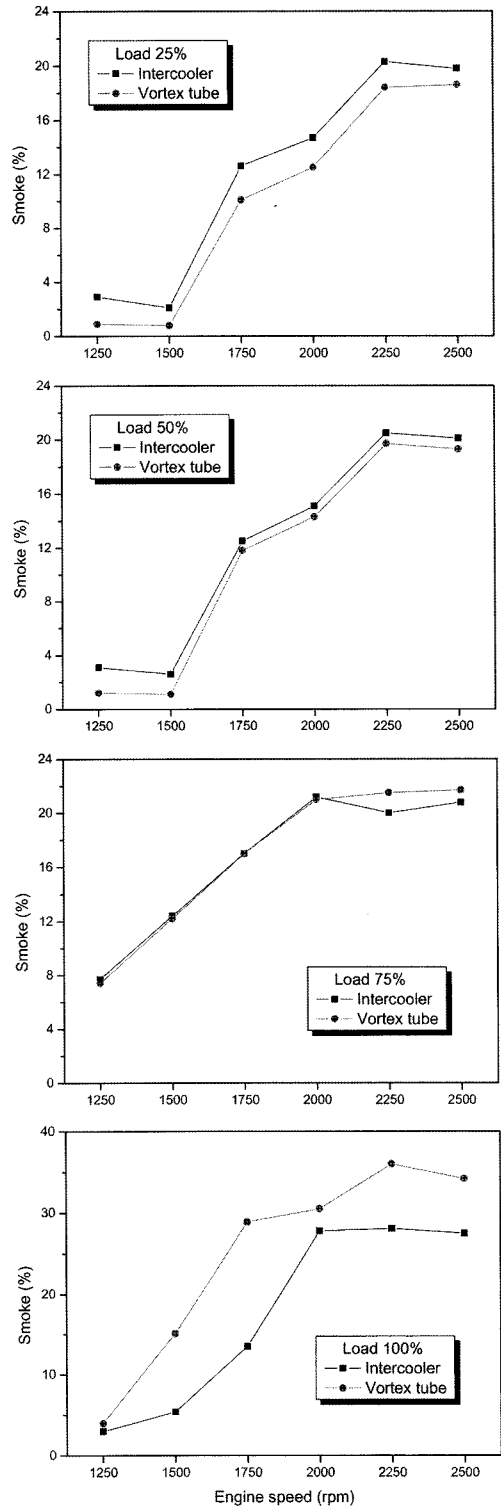


Fig. 8 Comparison of smoke between the intercooler and the vortex tube applied to engine

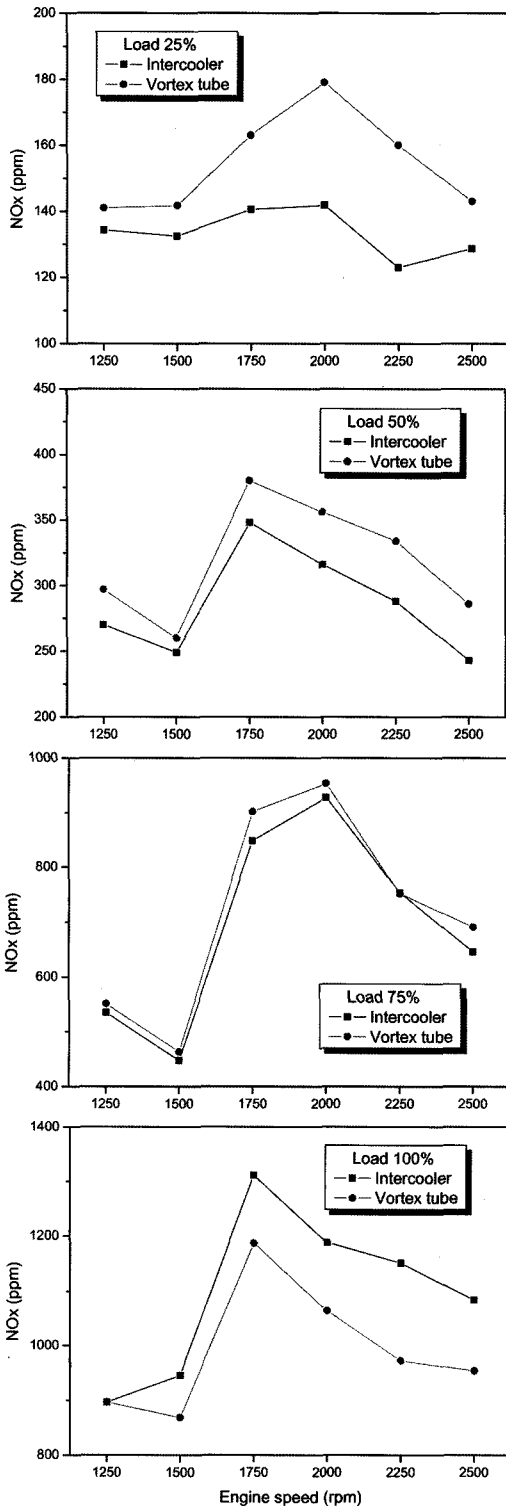


Fig. 9 Comparison of NOx between the intercooler and the vortex tube applied to engine

이고 있다.

질소산화물의 경우에는 매연의 경우와 반대로 저부하 영역에서는 최대 26% 정도의 증가를 보이고, 기관부하가 고부하 영역으로 이동될수록 질소산화물 증가율이 감소되어 기관부하 100%, 기관회전수 2,250rpm 영역에서는 오히려 15% 정도의 배출량 감소를 보이고 있다.

매연과 질소산화물 배출특성이 이와 같이 나타나는 이유로는 기관특성에 기인되는 여러 인자들 중 연소효율과 밀접하게 관련된다고 생각된다. 실험기관에 볼텍스 튜브를 인터쿨러 대신 적용함으로써 저부하 및 중·저회전수 영역에서는 볼텍스 튜브에 의해 과급된 공기의 냉각율이 상승하고, 볼텍스 튜브에 의해 형성된 강한 스웰이 연소실에서 연소를 촉진시켰기 때문에 연소온도를 상승시켜 질소산화물 배출량은 증가시키고, 매연은 감소시킨 반면에 고부하와 고회전수 영역에서는 상대적으로 높은 과급공기 냉각율과 높은 스웰 효과에도 불구하고 기관의 조건 변화에 따라 흡입공기량 증가가 요구되기 때문에 볼텍스 튜브의 에너지 분리를 위해 필요한 볼텍스 제너레이터의 노즐면적에 의해 연소실로 공급되는 공기량이 감소되어 연소가 오히려 저하되었기 때문에 기관성능 특성 및 배출가스 특성의 악화를 초래한 것으로 생각된다.

4. 결론

기초실험을 통하여 최적 설계·제작된 볼텍스 튜브를 커먼레일 디젤기관에서 인터쿨러 대신 적용하여 실제 작동구간에서의 적용 특성, 기관성능 특성 및 배출가스 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 볼텍스 튜브에 의한 과급공기의 냉각율은 기관회전수 1,250rpm, 기관부하 25%에서 인터쿨러에 의한 냉각율 보다 최대 22%정도 냉각율 상승 효과를 보였으나, 기관회전수 2,500rpm, 기관부하 50%와 기관부하 75% 이상의 경우 기관회전수 2,000rpm 이상의 조건부터는 오히려 냉각율이 인터쿨러의 경우보다 최대 16% 정도 저하되었다.
- 2) 제동연료소비율은 기관부하 25% 경우 최대 3%,

기관부하 50%인 경우 최대 2.5% 이고 기관부하 75% 경우에는 1.5%정도 개선효과를 보이고 있으나, 기관부하 100% 조건에서는 오히려 최대 5.5% 정도 악화되었다.

- 3) 매연의 경우, 기관부하 50%까지는 최대 20% 정도의 저감효과를 보였으나, 기관부하가 증가할수록 오히려 매연 배출량이 증가되어 기관부하 100%, 기관회전수 2,250rpm 경우에는 약 28% 정도 증가하였다.
- 4) 질소산화물은 매연의 경우와 반대로 저부하 영역에서는 최대 26% 정도 증가하였고, 기관 부하가 고부하 영역으로 이동될수록 질소산화물 증가율이 감소되어 기관부하 100%, 기관회전수 2,250rpm 영역에서는 오히려 15% 정도의 배출량 감소를 보였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 볼텍스 튜브는 여러 개선점을 보완한다면 상용 커먼레일 디젤기관에 적용이 가능하리라 생각된다. 이를 위해서는 에너지 분리효율은 저하시키지 않으면서 기관 조건에 따라 가변적으로 볼텍스 제너레이터 노즐 면적을 조절하여 연소실로 공급되는 공기량을 증가시키게 하고 동시에 에너지 분리특성과 관계가 깊은 저온 공기 유량비를 적절하게 조절할 수 있는 시스템들을 구축하는 것이 필요할 것이다.

아울러 인터쿨러를 적용할 수 없는 과급방식기관과 수냉식 인터쿨러 적용 기관에 볼텍스 튜브를 적용하게 된다면 과급공기 냉각효과를 상승시켜 기관 성능 및 배출가스 특성은 더욱더 향상되리라 생각된다.

References

- 1) K. H. Ryu and T. Y. Chung, "A Study on Performance and Exhaust Gas Characteristics of the Diesel Engine with Turbocharger and Intercooler," Transactions of KSAE, Vol.7, No.7, pp.86-93, 1999.
- 2) Bosch, Diesel-Engine Management, Bosch Technical Books, 2nd Updated and Expanded Edition.
- 3) R. Hilsch, "The Uses of Expansion of Gases in a Centrifugal Field as a Cooling Process," Review of Scientific Instruments, Vol.8, No.2, pp.108-113, 1947.
- 4) G. J. Ranguie, United State Patent, Serial No. 646.020, 1932.
- 5) C. D. Fulton, "Ranque's Tube," Refrig. Engineering, Vol.5, pp.473-479, 1950.
- 6) D. J. Oh, S. Y. Im, M. K. Yoon and J. I. Ryu, "An Experimental Study on the Energy Separation in a Low Pressure Vortex Tube for Engine," Transactions of KSAE, Vol.10, No.5, pp.235-241, 2002.
- 7) D. J. Oh, An Experimental Study on the Characteristics of a Low Pressure Vortex Tube, Ph. D. Dissertation, Chungnam National University, 2003.
- 8) S. Y. Im, D. S. Choi and J. I. Ryu, "An Experimental Study on the Performance Characteristics of the Vortex tube for Substitution of the Intercooler in a Common-rail Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.16, No.3, pp.172-178, 2008.
- 9) J. H. Kang, A Study on the Combustion Performance and Emission Characteristics Using DME for Common Rail 4 Cylinder Diesel Engine, Ph. D. Dissertation, Korea University of Technology and Education, 2008.

- 1) K. H. Ryu and T. Y. Chung, "A Study on