

크랭크실 환기장치의 오일 분리효율에 관한 연구

서준호^{*1)} · 나병철²⁾ · 김진용²⁾ · 박승욱²⁾ · 임대순³⁾

고려대학교^{1,3)} · 자동차부품연구원²⁾

A Study on Oil Separation Performance of Crank-Case Ventilation System

Joonho Seo^{*1)} · Byungchul Na²⁾ · Jinyong Kim²⁾ · Seunguk Park²⁾ · DaeSoon Lim³⁾

^{1,3)}Division of Materials Science & Engineering, KOREA University, Seoul 136-701, Korea

²⁾Energy Technology Research Center, KATECH, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

(Received 15 October 2007 / Accepted 23 January 2008)

Abstract : This research aims to develop parts for advanced fuel/oil filtering re-circulation applicable to this kind of regulation proof engines. These parts can play a role of converting traditional air emission type crankcase into recovery type crankcase so that the engine can deal with environmental regulations, which do not allow minimal amount of toxic gas discharge. For the experiment, test method and specially made testing equipment are prepared. The results showed that oil separation efficiency of the cone type CCV(Crank Case Ventilation) system was higher than one of cylinder type both in bench test and in engine.

Key words : Blow-by gas(블로바이가스), Oil separation(오일분리), Pressure regulation valve(압력제어밸브), Crankcase(크랭크 케이스)

1. 서론

전 세계적으로 자동차의 수가 증가함에 따라 자동차로부터 배출되는 유해 배기가스에 의한 환경오염문제가 날로 심각해지고 있고, 이로 인해 자동차 배기가스에 대한 규제를 강화하고 있는 실정이다. 또한 선진국 환경규제의 경우 수입차량이 해당국의 환경 기준치를 충족시키지 못할 경우 과징금마저 부과하도록 규정하고 있다.

이에 따라 선진 자동차 제조업체들은 연비개선, 배기가스저감 및 고효율의 엔진 시스템 개발을 위해 여러 대응기술을 연구하고 있고, 자동차 수출비중이 높은 국내 자동차업계로서는 선진국의 환경규제 동향을 주시하면서 대응기술에 대한 개발이 중요한 과제로 떠오르고 있다.

자동차의 배기가스 발생원인 중 큰 요인으로 작용하는 블로바이가스(blow-by gas)의 대기중 배출 문제가 제기되면서 블로바이가스의 대기 방출을 차단하는 CCV(crank case ventilation)시스템의 장착 의무화가 전면 시행되어 관련기술이 세계적으로 연구되고 있는 상황이다.

블로바이가스란 엔진 연소실내에서 고온 고압의 연소 시 피스톤링(piston ring)과 그루브(groove)의 틈새나 피스톤링의 마모로 인한 기밀성(sealing) 저하로 인해 실린더 내벽과 피스톤링 사이로 유출되는 가스를 말한다. 블로바이가스를 구성하고 있는 성분은 연료와 공기가 연소되어 발생하는 배기가스, 일부 미연소 연료, 기타 연소 중 발생하는 수분, 엔진오일 증발분 및 카본입자 등 다량의 탄화수소로 이루어져 있다.

기존 엔진의 경우 크랭크케이스(crankcase) 내에

*Corresponding author, E-mail: jhseo@katech.re.kr

유입되는 블로바이가스를 대기 중으로 방출시키거나(소형엔진 일부 및 구형엔진) 단순구조의 저효율 오일 분리(oil separation) 시스템을 장착하여 일부 오일만 회수하고 나머지는 블로바이가스와 함께 연소실로 이송되거나 대기 중으로 방출시키는 구조로 되어 있었다. 이러한 경우 엔진 오일과 연소가스가 혼합되어 있는 블로바이가스가 CCV 및 브리더(breather)를 통해 흡기계로 재순환시 무화된 오일 액적(oil mist)과 함께 배출되어 손실되는 오일 양은 실운전 조건에서 발생하는 오일 소모의 20-30%를 차지하며 흡기계 오염 및 유해 배기가스의 중요한 원인이 된다. 따라서 오일 소모 저감 및 엔진 신뢰성 향상을 위해 블로바이가스 내에 포함되어 있는 오일을 중력/관성력/전기력 등을 이용하여 효과적으로 분리할 수 있는 고효율 연료/오일 필터링 회수(advanced fuel/filtering recirculation) 부품은 CCV 시스템 개발에 요구되어지는 핵심적인 기술이다.^{1,2,4)}

본 연구에서는 CCV 시스템에 대한 오일 분리 성능 실험을 통하여 실린더(cylinder) type과 콘(cone) type의 오일 분리효율을 확인하였고, 또한 엔진 상태에서의 실험 장치 및 방법을 확립하여 실험을 통해 bench 상태에서의 결과와 비교, 분석하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 관련 이론 및 실험방법

2.1.1 크랭크케이스 오일 분리 장치 작동원리 및 설계기술 분석

CCV 시스템은 Fig. 1에서와 같이 흡기 부압이 과대하게 인가될 경우에도 엔진 내압을 일정하게 유지하는 역할을 하는 PCV 밸브와 오일 분리장치가 일체형으로 구성되어 있다. 블로바이가스 내에 포함되어 있는 오일을 분리하여 오일팬(oil pan)으로 드레인(drain) 시킴으로써 오일 소모와 유해 배기가스를 저감 시키고, 또한 오일과 분리된 연소가스는 흡기 매니폴드를 통하여 연소실 내에서 재연소시킬 수 있도록 하였다. Fig. 2는 오일 분리장치에서의 유체의 축 속도(axial velocity)와 반경 방향 속도(radial velocity)를 도시화 하였다. Fig. 2에서 보듯이 오일 분리장치 바깥부분에서는 아래쪽으로 속도가

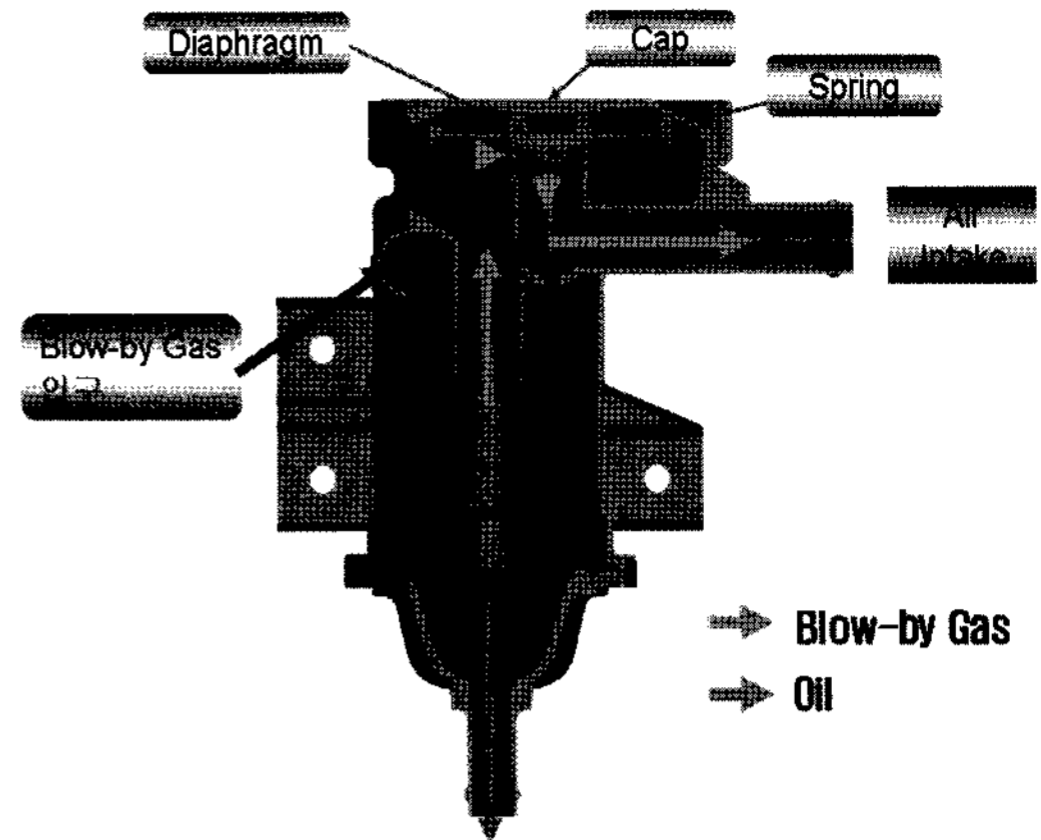


Fig. 1 Crank case ventilation system

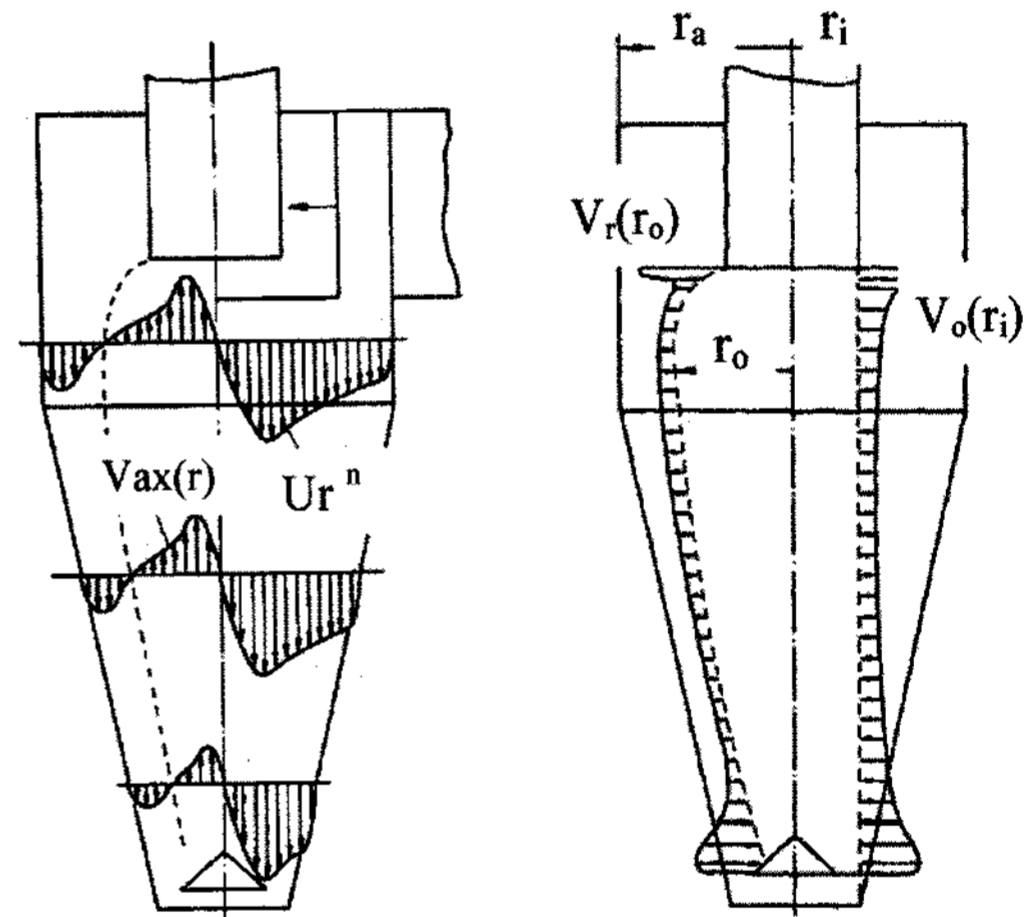


Fig. 2 Axial velocity & radial velocity

형성되고 가운데 부분에서는 위쪽으로 속도가 형성되는데, 이러한 특성을 이용한 것이 싸이클론 분리장치(cyclone separator)이고 이 특성에 의해 오일과 가스가 섞인 혼합유체가 회전하면서 비교적 무거운 오일은 관성에 의해 벽을 따라 회전하면서 아래쪽으로 흐르게 되고, 가스는 가운데 부분을 통해서 위쪽으로 나가게 되어 오일과 가스를 분리하게 되는 원리이다.^{1,3,5)}

Fig. 3은 오일 분리효율에 중요한 영향을 미치는 오일 분리장치의 설계변수로, 싸이클론 분리장치에 대한 기존 연구결과를 바탕으로 2가지 type의 오일 분리장치를 설계하였다. Table 1에서는 실험에 적용된 2가지 type의 오일 분리장치에 대한 각 설계변수의 수치를 나타내었다.^{6,7)}

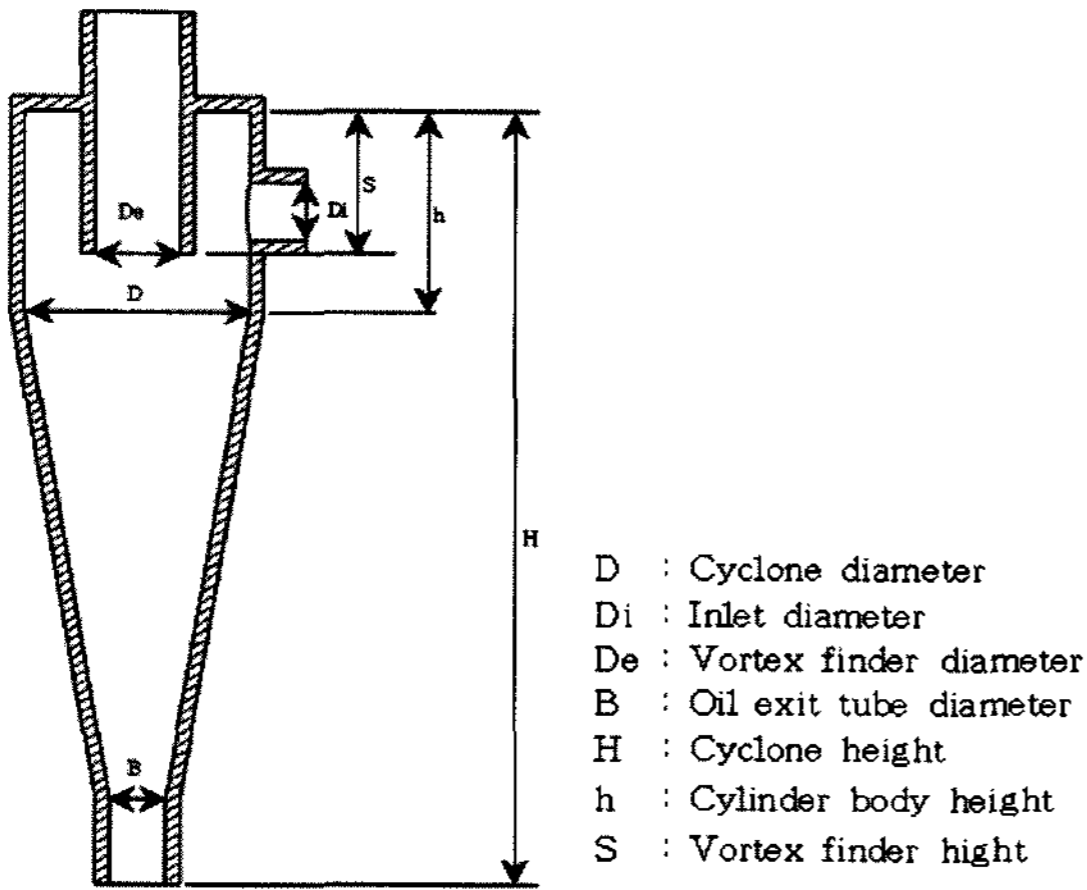


Fig. 3 Design variable of oil separator

Table 1 Property of oil separator

		Cylinder	Cone
D	Cyclone diameter	55mm	55mm
Di	Inlet diameter	23mm	23mm
De	Vortex finder diameter	20mm	20mm
B	Oil exit tube diameter	9mm	13mm
H	Cyclone height	160mm	190mm
h	Cylinder body height	50mm	110mm
S	Vortex finder height	80mm	30mm

2.1.2 Bench상 오일 분리성능 실험 장치 및 방법

오일 분리성능 실험장치는 atomizer aerosol generator에서 일정한 크기의 오일 입자와 일정량의 공기를 혼합하여 분사시켜 실험장치에 장착된 CCV 시스템을 통과시킨 후 절대필터(absolute filter)에 포집된 오일의 무게를 측정하여 CCV시스템의 오일 분리성능을 측정하는 방법으로 구성되어 있다. Fig. 4는 실험장치의 사진이다.

오일 분리성능 실험은 실린더 type CCV시스템과 콘 type CCV시스템을 오일 분리성능 실험 장치 입/출구, oil drain부에 Fig. 5와 같이 연결하고, 오일입자 backup 필터의 초기 무게를 측정하였고, 500초 동안 실험을 실시하고 난 후 다시 backup 필터의 무게를 측정하여 carry over된 오일의 양을 확인하였다.

실험은 기존 실차에서의 블로바이특성에 관한 측정결과를 바탕으로 실차와 유사한 조건을 유지하기 위하여 Table 2와 같은 조건으로 수행하였다. 또한 드레인 된 오일의 양을 실시간으로 확인 할 수 있도

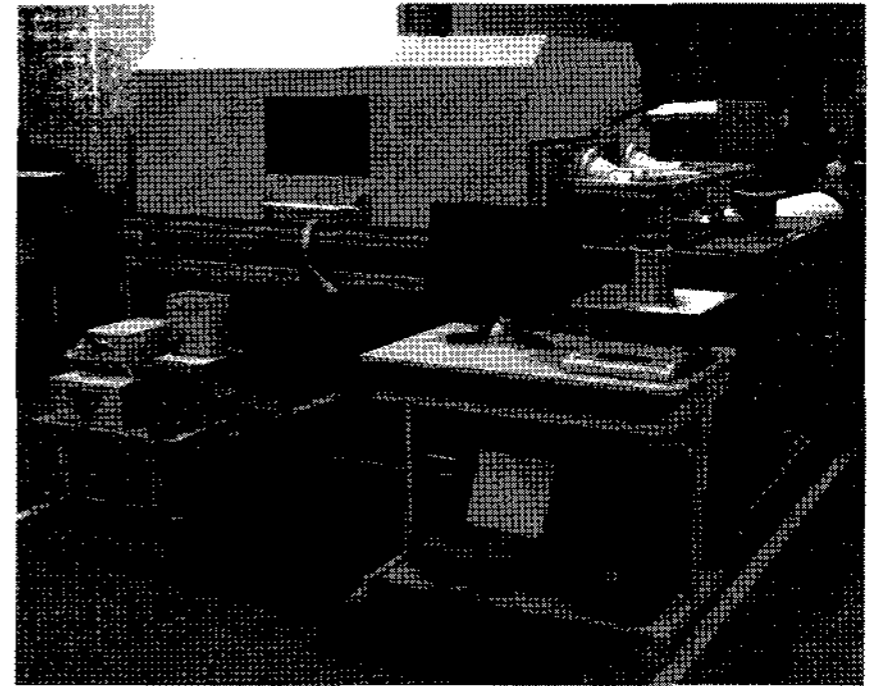


Fig. 4 Photograph of test bench

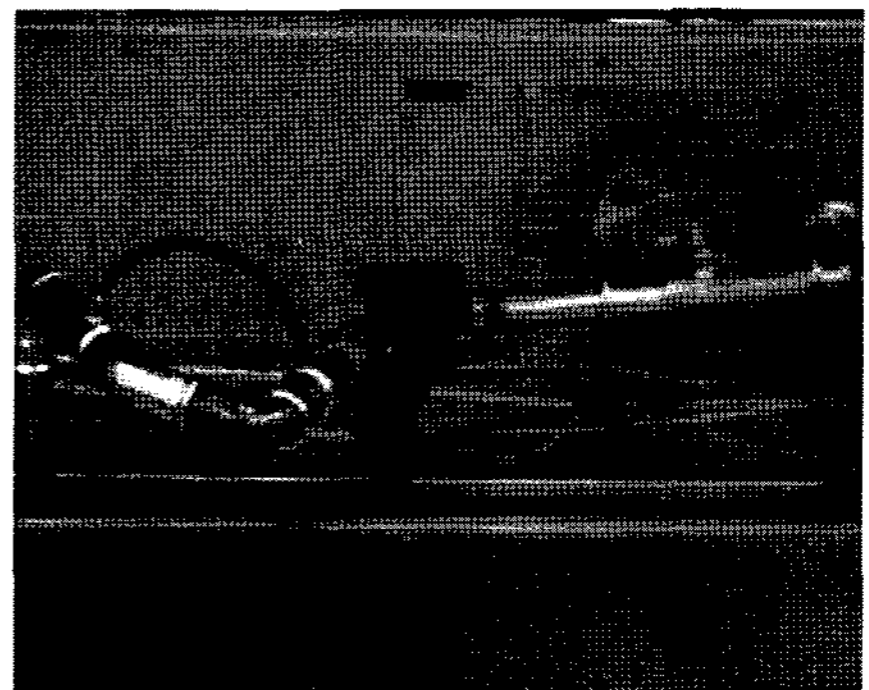


Fig. 5 Inlet and outlet connection of CCV system

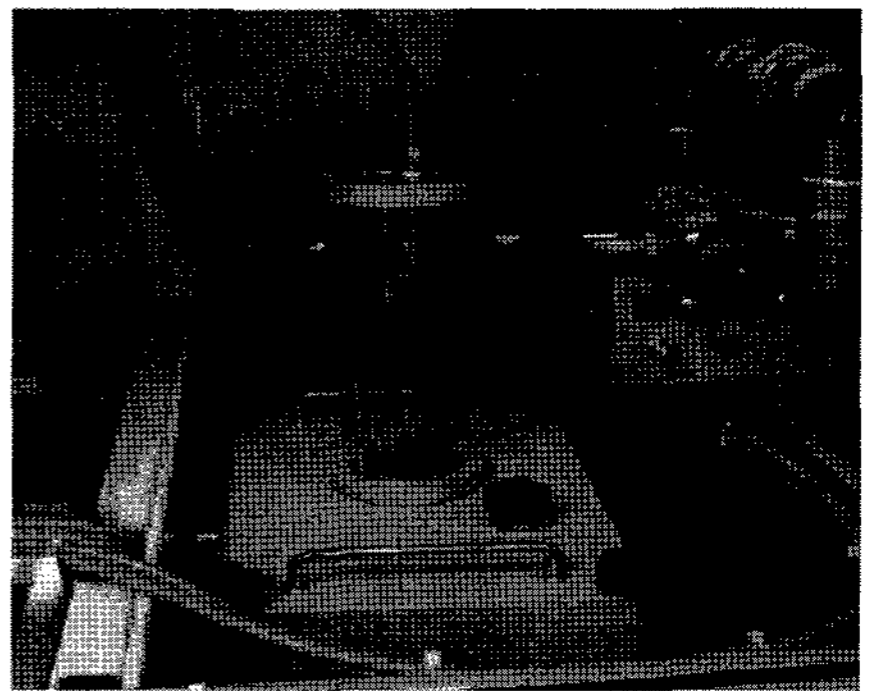


Fig. 6 Drain oil weight measurement

Table 2 Test condition of oil separator

Parameter	Value
Test Flux (L/min)	70, 90
Test oil	15W40
Oil mass rate (g/h)	1~16
Temperature (°C)	80

록 Fig. 6에서와 같은 장치를 설치하였고, 오일 분리 효율은 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

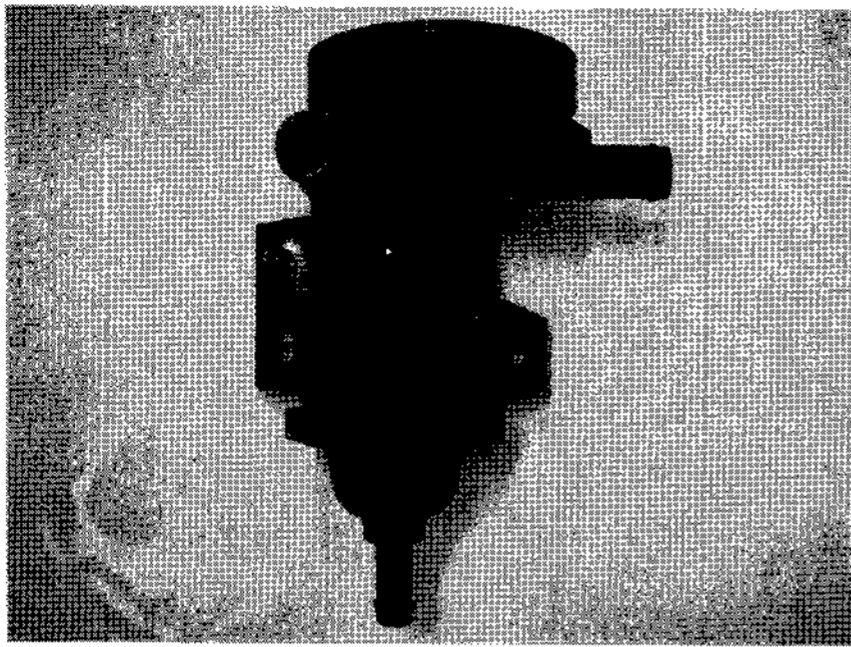


Fig. 7 CCV system of cylinder type

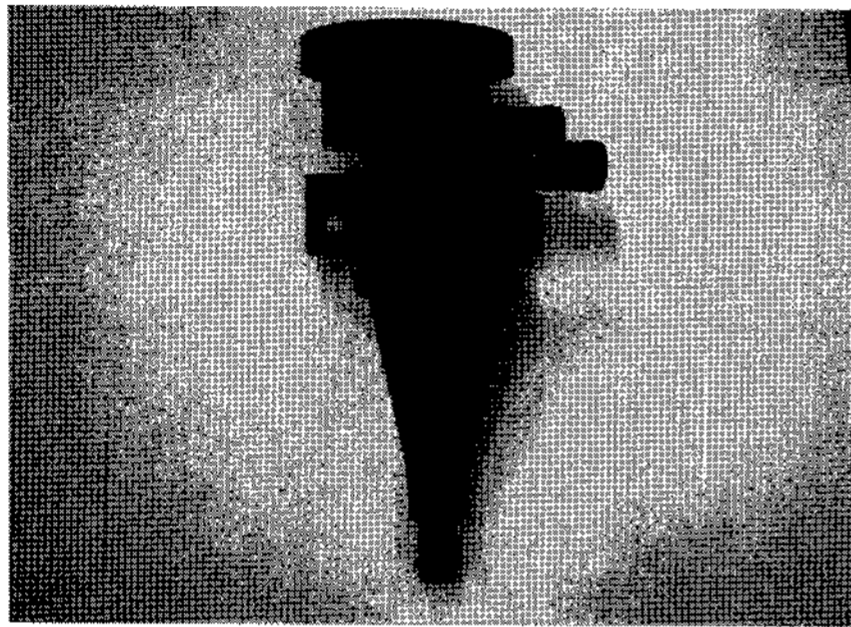


Fig. 8 CCV system of Cone type

Fig. 7과 Fig. 8은 실험을 위한 CCV시스템의 샘플(sample)이다. Fig. 7은 기존에 적용되었던 실린더 type CCV시스템이며, Fig. 8은 블로바이가스의 회전속도를 증가시켜 원심력을 높이기 위해 콘 형상으로 제작한 CCV시스템이다.

$$\eta_s(\%) = \{1 - M_f / (M_d + M_f)\} \times 100 \quad (1)$$

η_s : Oil separation efficiency

M_d : Mass of oil drop

M_f : Mass of filtering oil

2.1.3 엔진장착 오일 분리성능 실험 개요 및 방법

Fig. 9는 엔진 bench상에서 CCV시스템의 오일 분리성능을 실험하기 위한 구성도이다. 크랭크케이스에서 발생하는 증발 오일과 엔진 연소에서 발생하는 블로바이가스가 로커 커버(rocker cover)를 거쳐 오일 분리장치를 통과 하면서, 분리된 오일은 oil drop bag에 수집되고 분리되지 않은 잔류 미세 오일 들은 CCV시스템 후단에 설치되어 있는 절대필터에 포집된다. 또한 흡기 매니폴드의 압력을 조절하기 위해 에어 클리너(air cleaner) 후단에 압력조절 밸브

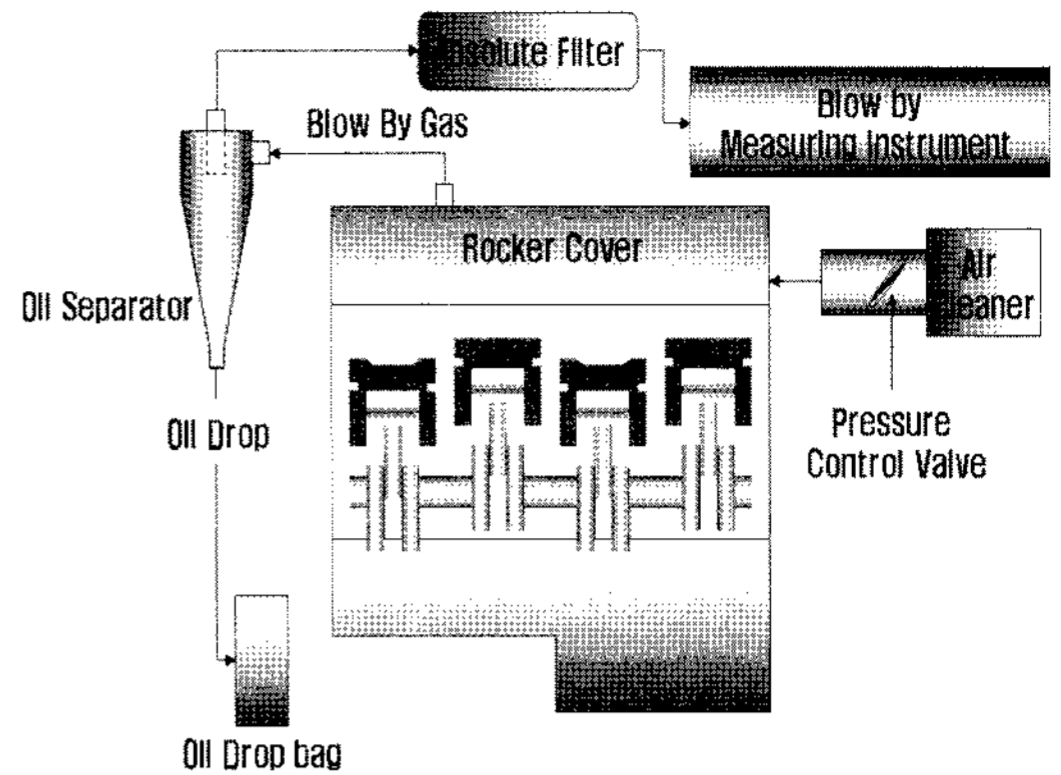


Fig. 9 Schematics of testing equipment

Table 3 Experimental condition of Intake manifold pressure

Experimental condition	Pressure(mmH ₂ O)
A(STD)	-350
B(Dirty)	-760

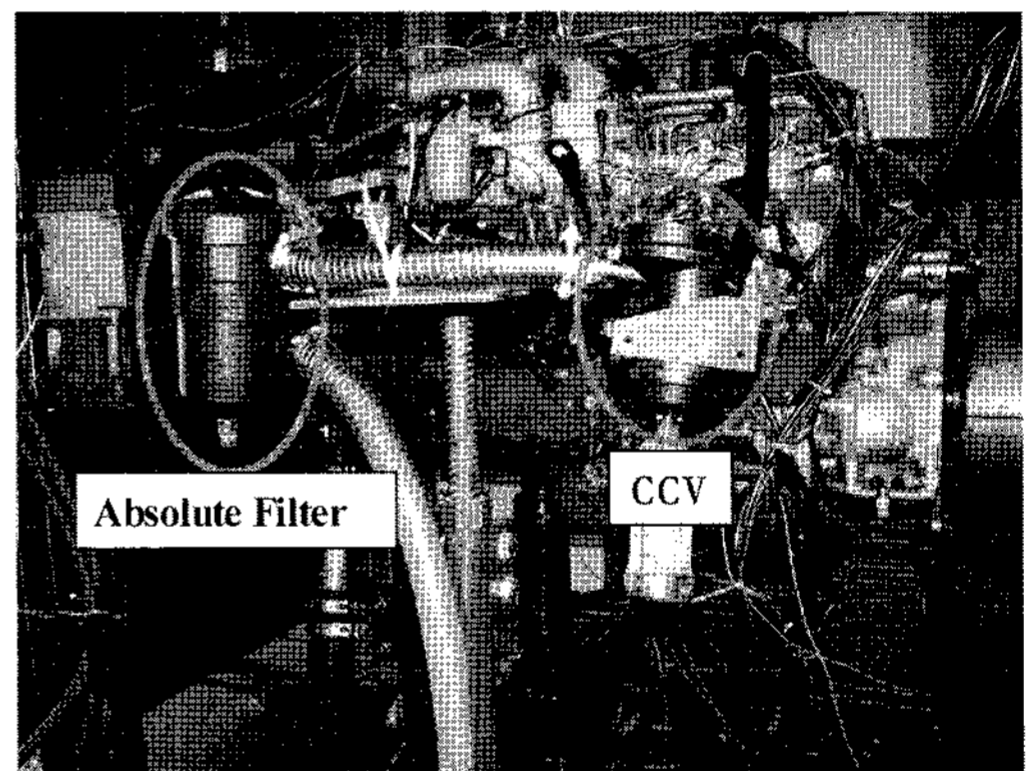


Fig. 10 Photograph of engine test

및 압력센서를 설치하였다. Table 3에서는 실험에 적용된 흡기 매니폴드의 압력조건을 나타내었다. 이는 흡기 매니폴드의 압력을 조절하여 블로바이가스량 변화에 따른 오일 분리효율을 측정하기 위해서이다.⁸⁾

실험에 사용된 엔진은 6기통 터보인터쿨러 형식의 6,600cc급 디젤 엔진으로 최고 출력은 196ps이고 최대 토크는 58kg-m이다. 또한 적용 오일은 SAE 점도 등급이 15W/40인 디젤 엔진 오일이다.

엔진상에서 CCV시스템의 오일 분리효율을 측정하는 방법은 다음과 같다. 실험 대상엔진의 2500RPM에서 흡기 매니폴드 압력이 -350mmH₂O와 -760mmH₂O

의 상황일 때 각각 30분 동안 블로바이가스를 포집한 후 0.01mg까지 측정 할 수 있는 전자저울로 절대 필터와 oil drop bag의 무게를 측정하여 carry over양과 oil drop양을 확인하였다. 흡기 매니폴드 압력이 -350mmH₂O일 때에는 일반적인 흡기압력 상태이며, -760mmH₂O일 때에는 에어 클리너가 막혀있는 상태의 흡기압력이다. 흡기압력은 에어 클리너와 엔진 사이에 압력 조절 밸브를 장착하여 변경하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 Bench상 오일 분리성능 실험결과

실린더 type CCV시스템과 콘 type CCV시스템의 블로바이가스량이 70L/min와 90L/min의 조건에서 오일 분리성능 특성을 실험한 결과 Fig. 11 ~ Fig. 14에 도시한 바와 같이 실린더 type CCV시스템의 경우 두 조건에서 모두 10%이하의 오일 분리효율을 보인 반면, 콘 type CCV시스템에서는 약 70~80%로 7배이상 오일 분리효율이 높음을 확인 할 수 있었다. 또한 블로바이가스량이 70L/min와 90L/min 일

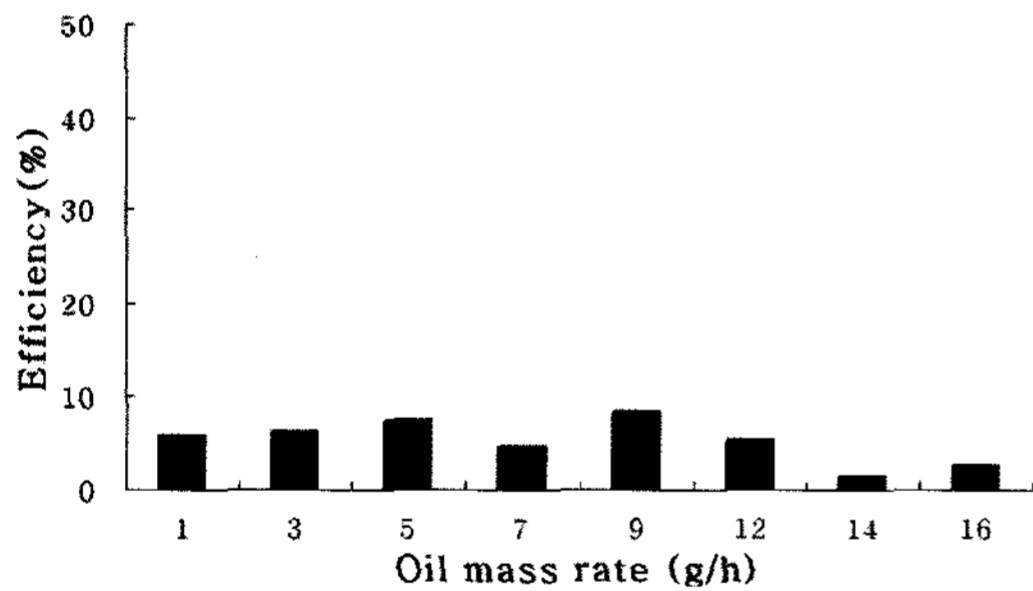


Fig. 11 Oil Separation efficiency of cylinder type CCV(70L/min)

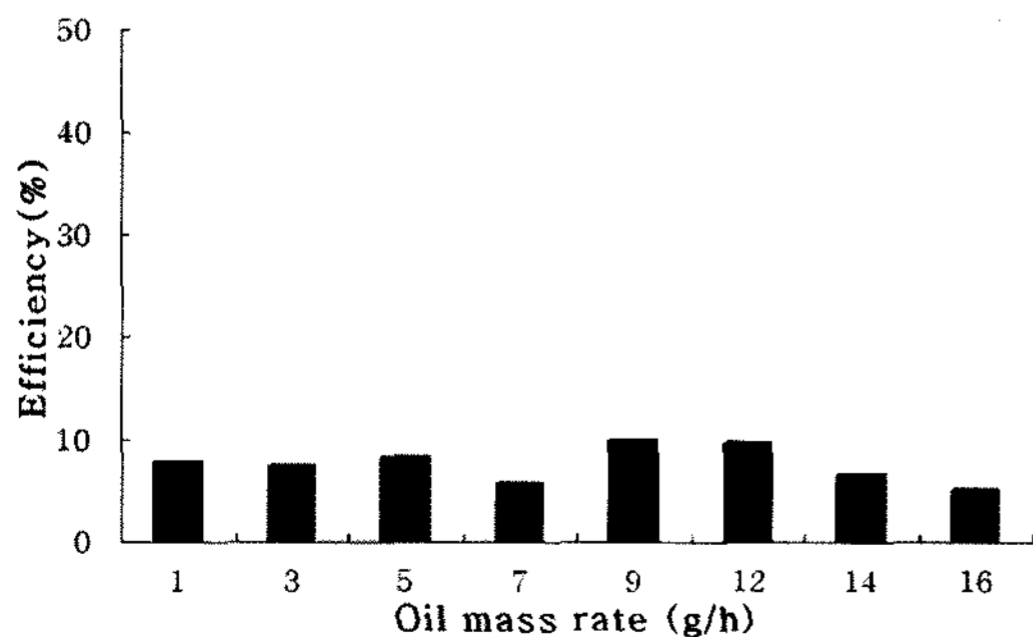


Fig. 12 Oil separation efficiency of cylinder type CCV(90L/min)

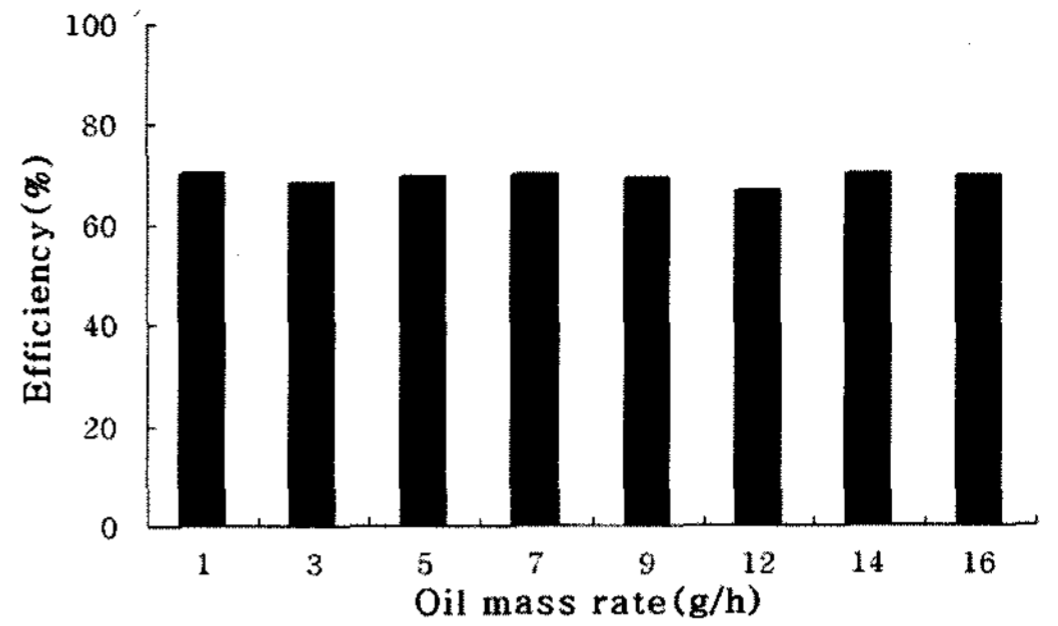


Fig. 13 Oil separation efficiency of cone type CCV(70L/min)

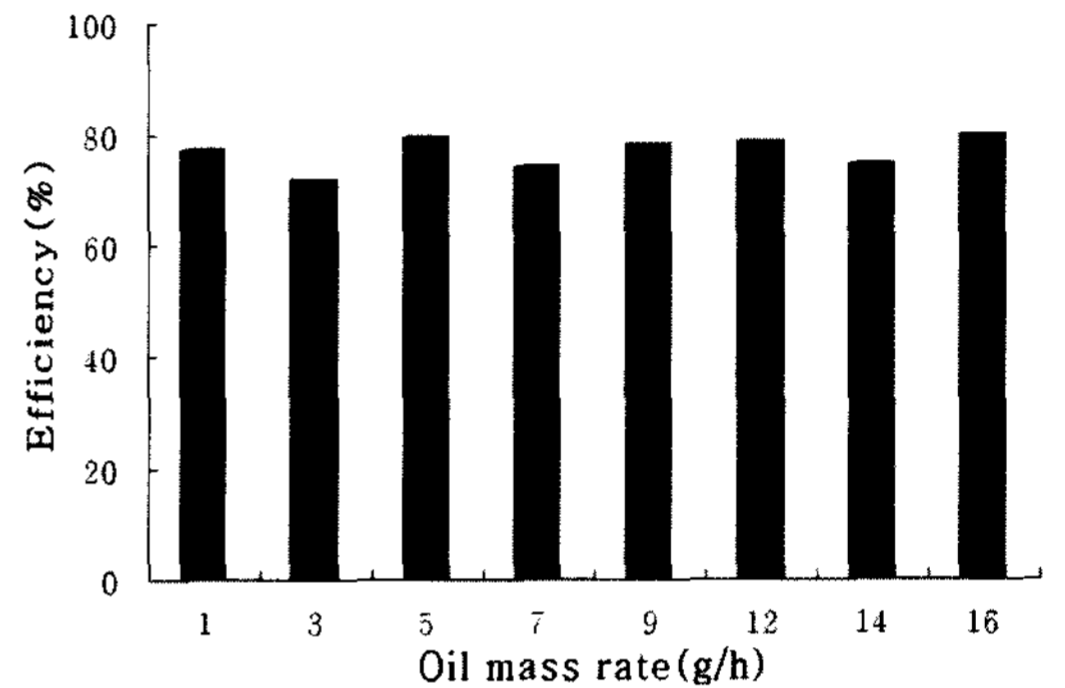


Fig. 14 Oil separation efficiency of cone type CCV(90L/min)

때의 실험결과를 통하여 블로바이가스량이 증가함에 따라 CCV시스템 내에서의 블로바이가스 유속이 증가하여 오일 분리효율이 높아짐을 확인 할 수 있었다.

2.2.2 엔진장착 오일 분리성능 실험결과

Fig. 15는 흡기 매니폴드 압력이 -350mmH₂O일 때 oil drop양과 carry over양을 나타냈으며, Fig. 16은 흡기 매니폴드 압력이 -760mmH₂O일 때 oil drop 양과 carry over양을 나타낸 그래프이다. Fig. 15와 Fig. 16에서 보듯이 기존에 적용되었던 실린더 type CCV의 경우는 carry over되는 오일의 양이 분리되는 오일의 양보다 많음을 확인 할 수 있는데, 이것은 실린더 type의 경우 블로바이가스가 오일이 분리 될 수 있을 정도의 속도가 형성되지 못하고 바로 외부로 빠져나가 분리되는 오일의 양이 상대적으로 적게 측정되기 때문이다. 이에 비하여 콘 type으로 변경된 CCV는 사이클론현상이 발생되어 벽면으로는 아래쪽으로 형성되는 속도장을 따라 분리된 오일이 oil drop bag에 포집 되고, 가운데에서는 위쪽으로 형성되는 속도장을 따라 가스가 방출되어 carry over되는

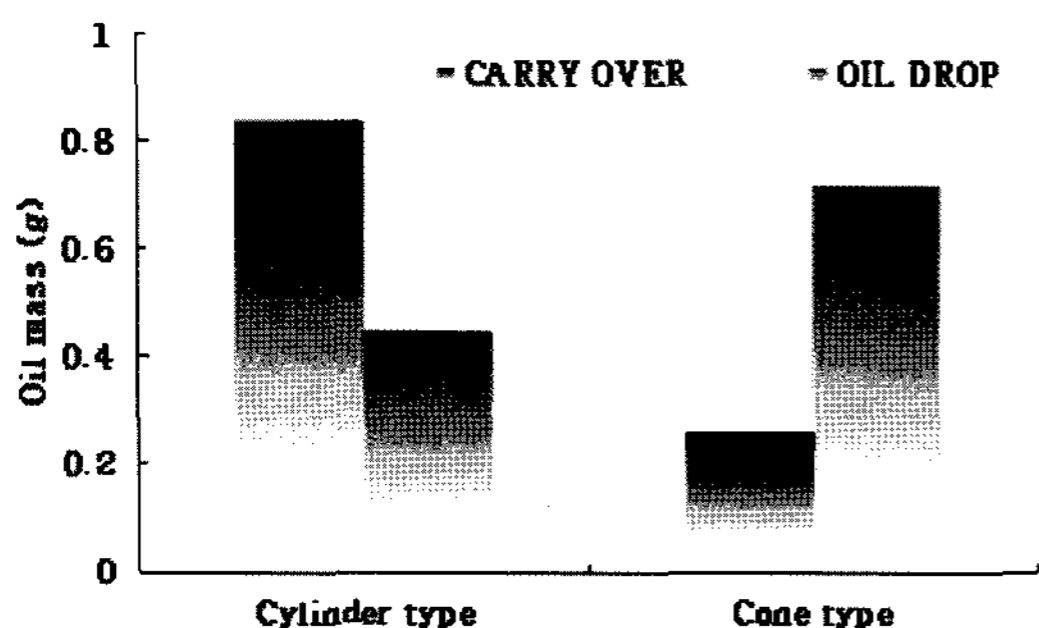


Fig. 15 Comparison of oil separation between cylinder and cone type CCV(-350mmH₂O)

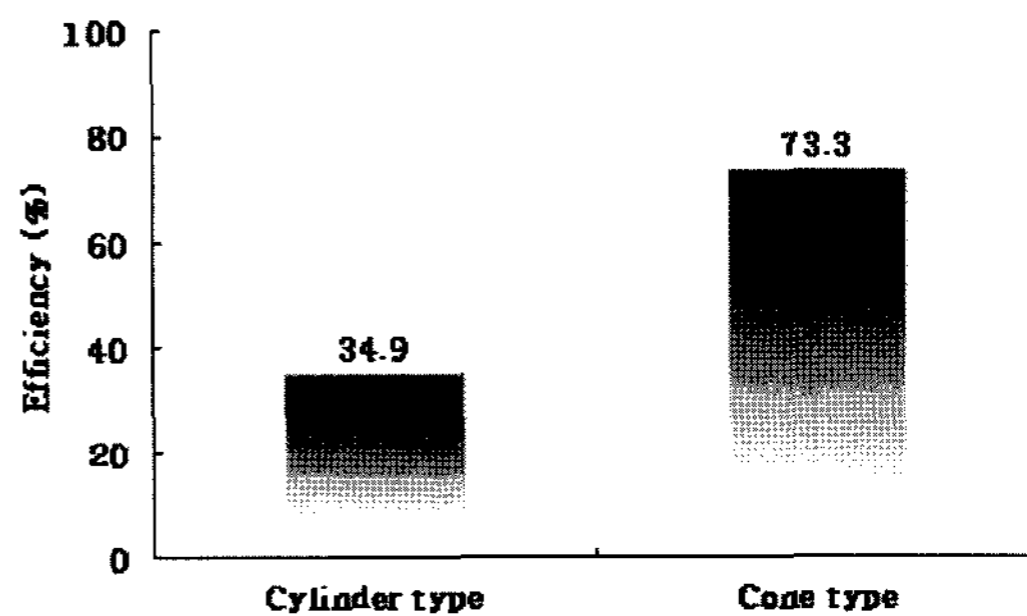


Fig. 18 Comparison of oil separation efficiency between cylinder and cone type CCV(-760mmH₂O)

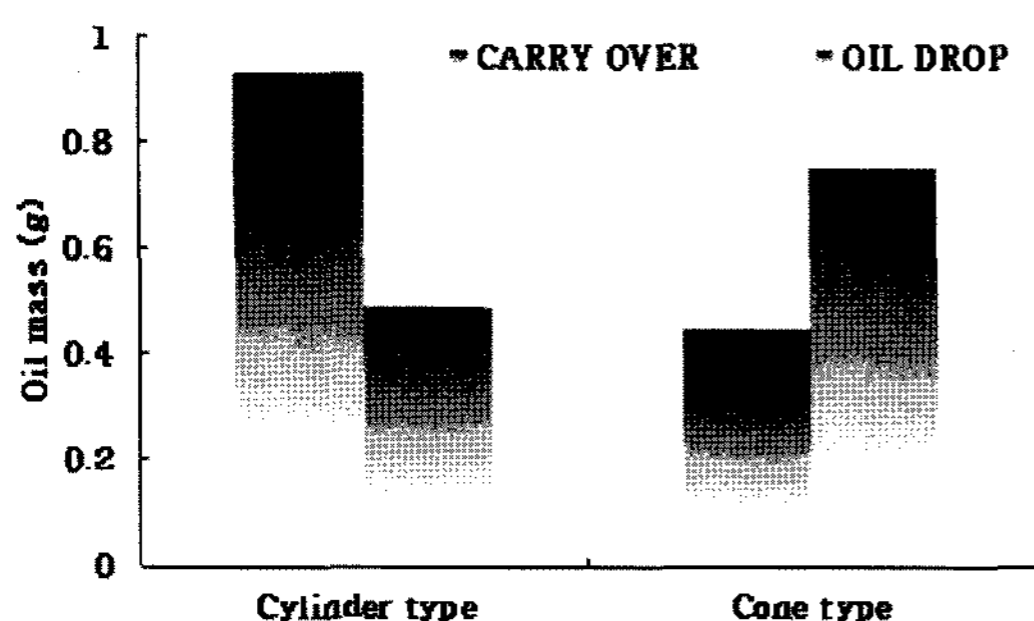


Fig. 16 Comparison of oil separation between cylinder and cone type CCV(-760mmH₂O)

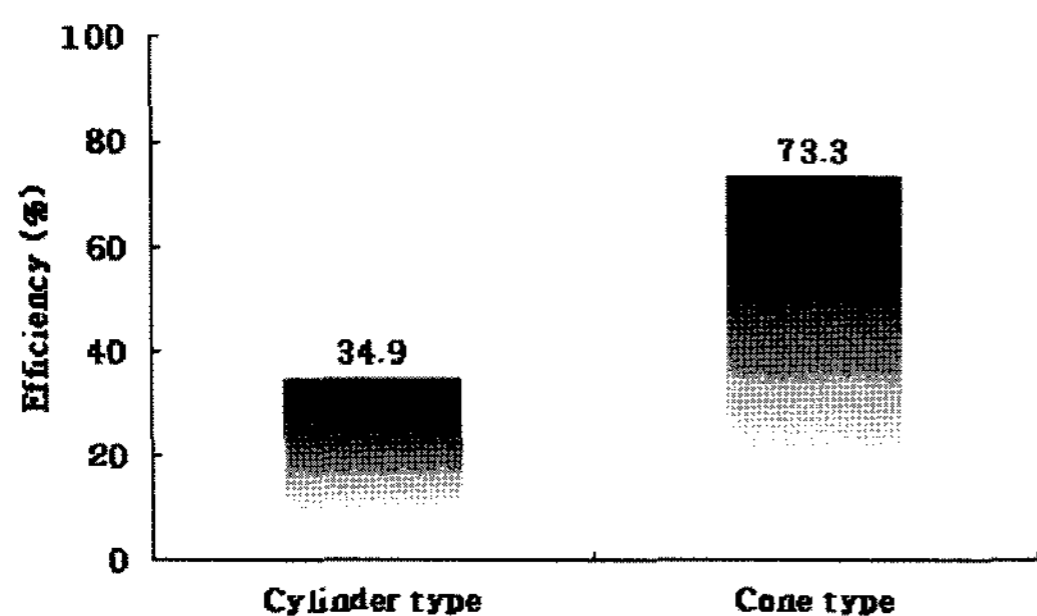


Fig. 17 Comparison of oil separation efficiency between Cylinder and Cone type CCV(-350mmH₂O)

오일의 양보다 분리되는 오일의 양이 더 많음을 확인할 수 있다. Fig. 17과 Fig. 18에서 보는 바와 같이 오일 분리효율로 환산한 결과 -350mmH₂O, -760mmH₂O 압력의 조건 모두에서 실린더 type보다 콘 type의 CCV가 오일 분리효율이 약 2배정도 높음을 알 수 있다.

또한 흡기 매니폴드 압력이 -350mmH₂O일 때 블로바이가스량은 90~92L/min이며, -760mmH₂O일 때 블로바이가스량은 70~74L/min로 측정되었는데, 이

로써 흡기 압력이 낮아질수록 블로바이가스 발생량이 적어지므로 CCV 내에서의 회전속도가 낮아지게 되고 원심력을 이용한 오일 분리효율이 떨어짐을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 CCV시스템에 대한 bench 상태에서의 실험 방법을 확립하였고, 오일 분리성능 실험을 통하여 기존의 실린더 type과 블로바이가스의 회전력을 상승시키기 위해 설계 변형된 콘 type CCV시스템에 대한 오일 분리성능을 확인하였다.

또한 엔진 실험을 통하여 bench 상태에서의 실험 결과와 비교, 분석 하였다.

- 1) CCV시스템에 대한 bench상에서와 엔진상에서의 오일 분리성능에 대한 실험장치를 구축하였고, 실험 방법 및 평가 방법을 확립하였다.
- 2) bench 상에서의 오일 분리 성능에 대한 실험을 실시한 결과 실린더 type CCV시스템은 10%이하의 낮은 오일 분리효율을 보인 반면, 콘 type CCV시스템의 오일분리효율은 약 70~80%로 7배 이상 효율이 높음을 확인하였다.
- 3) 실린더 type의 CCV와 콘 type의 CCV시스템의 오일 분리효율을 엔진실험을 통하여 측정한 결과 콘 type의 CCV시스템이 2배정도 높음을 확인하였다.
- 4) bench상의 실험과 엔진실험을 통하여 두 조건에서의 상관관계를 확인하였고, bench상에서의 오일 분리효율 차이가 엔진상에서 보다 많은 이유는 bench상에서는 블로바이가스 내의 오일 입자의 크기를 일정하게 유지할 수 있지만, 엔진상

에서는 다양한 크기의 오일입자들이 존재하고, 미세한 오일입자가 carry over 되어 효율을 저하시키기 때문으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 “자동차기반기술개발사업”으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) O.-H. Kwon, Y.-W. Lee, S.-M. Song, J.-H. Lee and J.-W. Kang, “The Effect of In-outlet Differential Pressure on a Valve Body Stress and Deformation by the Blow-by Gas Flow Characteristic in the PCV Valve for Automobile,” Journal of the Korean Society of Safety, Vol.20, No.1, pp.36-41, 2005.
- 2) Y.-N. Chun and T.-I. Ohm, “Numerical Study of Cyclone Dust Collector,” J. KAPRA, Vol.12, No.1, pp.43-53, 1996.
- 3) J.-D. Chung, S.-G. Lee and M. Bohnet, “A Study of High Particle Collection Efficiency of Cyclone,” KSME Annual Spring Conference, Vol.1, pp.2227-2232, 2003.
- 4) D. Leith and W. Licht, “The Collection Efficiency of Cyclone Type Particle Collectors - A New Theoretical Approach,” AIChE Symp. Series, Vol.8, No.2, pp.196-206, 1981.
- 5) M. Bohnet, “Cyclone Separators for Fine Particles and Difficult Operating Conditions,” KONA, Power and Particle No.12, pp.69-76, 1994.
- 6) R. Clift, M. Ghadiri and A. C. Hoffman, “A Critique of Two Models for Cyclone Performance,” AIChE Journal, Vol.37, No.2, pp. 285-289, 1991.
- 7) H. Mothe and F. Löffler, “Prediction of Particle Removal in Cyclone Separator,” Int. Chem. Eng., Vol.28, pp.231-240, 1988.
- 8) C. E. Lapple and C. B. Shepherd, “Flow Pattern and Pressure Drop in Dust Cyclone Separator,” Ind. & Eng. Chem., Vol.31, No.8, pp.43-53, 1939.