

PCV 밸브 내부 유동특성에 관한 수치해석적 연구

이종훈[†] · 이연원* · 김재환**

Numerical Analytic Study on Internal Flow Characteristics of a PCV valve

Jong Hoon Lee, Yeon Won Lee and Jae Hwan Kim

Abstract

An automobile engine has the Positive Crankcase Ventilation system (PCV system) for preventing air pollution as the environmental problem is important. In this system, a PCV valve is the most important component to control the flow rate of Blowby gas which is generated by various engine powers. But, in the working place, the design of a PCV valve is very difficult because of interaction between fluid and solid motions. In this study, we investigated fluid flow characteristics using re-meshing method of a CFD technique to simulate spool behavior. As the results, a spool is periodically oscillated with time and is largely oscillated in proportion to the differential pressure between inlet and outlet. And, although the velocity at the orifice increases with the differential pressure, the flow rate of the outlet decreases. This research may give PCV designers visual flow information to help them

Key Words : PCV System (강제 크랭크케이스 환기 시스템), Spool (스풀), Orifice (오리피스), Euler's Explicit Method (오일러 양해법)

기호설명

v : 스풀의 이동속도 (m/s)
 m : 스풀의 질량 (kg)
 F : 유체력 (N)
 k : 스프링 상수 (N/m)

x : 스풀의 이동변위 (m)
 \dot{x} : 스풀의 미소 이동속도 (m/s)
 Δx : 스풀의 미소 이동변위 (m)
 Δt : 시간 간격 (sec)
 i : 현재 타임스텝

1. 서론

[†] 부경대학교 일반대학원 기계공학부
E-mail : cfd@mail1.pknu.ac.kr

* 부경대학교 기계공학부 교수

** (주)이원정공 기술연구소

블로우바이 가스는 연소실의 연소후 가스 중 소량이 피스톤과 실린더 벽의 미세한 틈으로 크랭크케이스 내부로 유입되는 것을 말하며, 이것

은 엔진오일의 혼탁 및 크랭크케이스의 부식 그리고, 압력 상승에 따른 엔진의 출력저하를 야기한다. 또한, 블로우바이 가스는 전체 자동차에서 발생하는 탄화수소(HC) 중 약 20~35%정도를 차지하므로 이것을 제거하기 위해 Fig. 1과 같은 시스템이 엔진에 구성되어 있다.^[1] 이 제거 시스템은 개방계와 밀폐계로 구분할 수 있으며, 개방계는 블로우바이 가스를 직접 대기 중으로 방출함으로써, 이로 인해 야기되는 대기 오염 문제 때문에 현재는 블로우바이 가스를 재연소시키는 밀폐계가 주로 사용된다.^[2] 이 밀폐계에서 PCV 밸브는 매니폴더 흡입관(Manifold Suction Tube)에 설치되어 블로우바이 가스의 유량을 내부 스펴의 거동에 따른 유로면적 변화로서 제어한다.

본 연구의 목적은 내부 유동장을 시간에 따른 스펴의 동적거동을 고려하여 수치 가시화하여 설계자에게 시각적인 정보를 제공하며, 이와 아울러 내부 유동 특성을 조사한다.

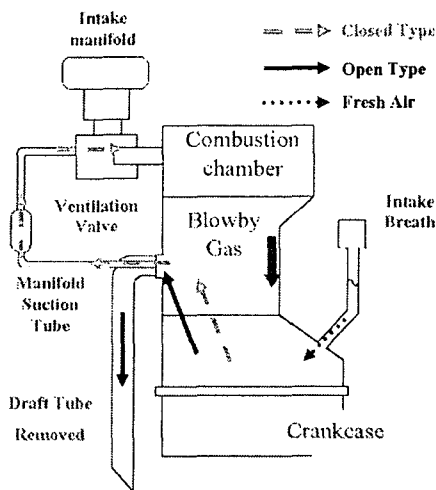


Fig. 1 Schematic diagram of a PCV system

2. 수치 모사

현재 다종의 PCV 밸브가 양산되고 있지만 기하학적인 형상과 구조가 거의 비슷하므로 본 연구에서는 임의적으로 Fig. 2와 같은 구조를 가지는 밸브를 선택하였다.

PCV 밸브는 메인바디, 스펴, 리턴(Return) 및 쿠션(Cushion) 스프링으로 구성되어 있다. 블로우바이 가스의 유량은 오리피스의 유로면적 변화

를 통해 제어된다. 본 연구에서 우리는 상용 유체해석 툴인 FLUENT를 사용하였으며, 스펴의 동적거동을 모사하기 위하여 MDM(Moving Dynamic Mesh) 기법을 이용하였다. 이 기법은 자동적으로 격자를 재구성하는 장점을 가지지만, 사면체 격자라는 제약이 있다. Fig. 3은 격자계를 보여주며 본 연구에서 우리는 축대칭을 가정하여 2차원 해석을 수행하였다.

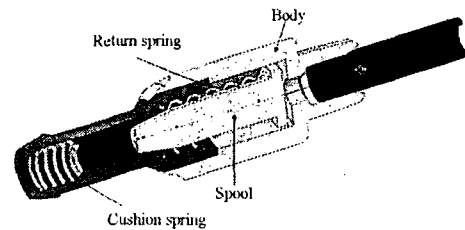


Fig. 2 Sectional view of a PCV valve



Fig. 3 Mesh structure

Table 1은 경계조건을 보여준다. 입구는 대기압으로 고정하였고, 출구에서는 3개의 차압 -50, -100, -200 mmHg를 주었다.

Table 1 Boundary condition

Boundary Name	Momentum	Energy
Inlet	0 mmHg	293 K
Outlet	-50 mmHg -100 mmHg -200 mmHg	$\frac{\partial T}{\partial n} = 0$
Wall	No slip	$\dot{q} = 0$

2.1 스펴의 동적거동

스펴의 동적거동은 Fig. 4와 같이 입출구 차압에 의해 야기되는 유동의 유체력과 스프링의 탄성력 간의 힘의 평형에 의해 일어난다.

이들 관계를 뉴턴의 운동방정식에 의해 수식화하면 다음과 같다.^[3]

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m}(F - kx) \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (2)$$

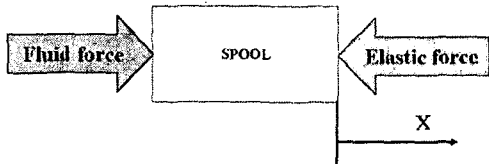


Fig. 4 Free body diagram of a spool

이들 식은 오일러 양해법을 이용하여 다음과 같이 표현된다.^[4]

$$\Delta v = \frac{1}{m}(F - kx) \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$v_{i+1} = v_i + \Delta v \quad (4)$$

$$x_{i+1} = x_i + v_{i+1} \cdot \Delta t \quad (5)$$

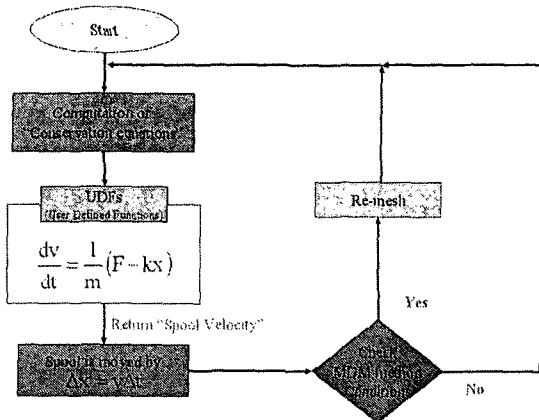


Fig. 5 Flow chart of numerical simulation

Fig. 5는 본 수치모사의 개략적인 순서도를 보여준다. 현재 시간스텝에서 솔버에 의해 유체의 질량, 운동량, 에너지 보존방정식이 풀리고, 솔버는 스풀의 표면에 걸리는 유체력을 서브루틴에 반환한다. 서브루틴은 스풀의 이동속도를 솔버로 다시 반환하게 되고, 솔버는 미소변위 Δx 만큼 스풀을 이동시킨다. 스풀의 거동은 계산영역 내의 격자를 변형시킨다. 격자의 품질은 수치계산

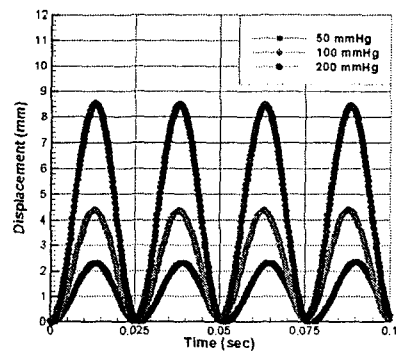
에서 수렴문제와 직결된다. 본 연구에서 사용된 MDM기법은 격자의 최대 및 최소 체적, 왜곡도 등을 확인하여 격자를 자동적으로 재구성하여 격자 품질을 향상시킨다. 이러한 과정이 시간진행과 더불어 반복적으로 행하여진다.

3. 결과 및 검토

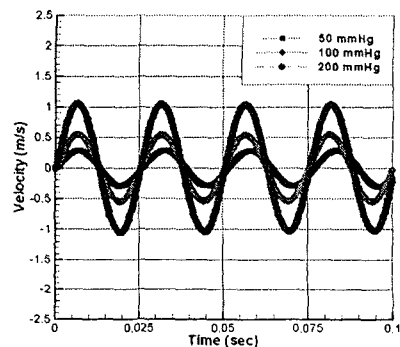
본 연구에서는 입출구 차압과 더불어 스풀의 동적거동에 따른 내부 유동특성을 알아보기 위해 비정상 상태로 0초에서 0.1초까지 수치모사를 수행하였다.

3.1 스풀의 동적거동

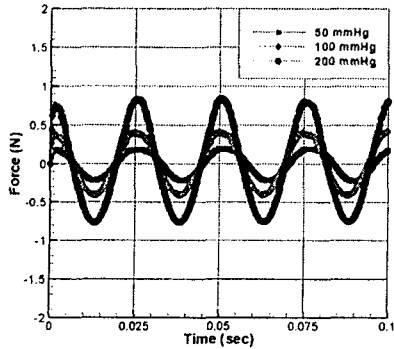
Fig. 6은 차압변화에 따른 스풀의 동적특성 변화를 나타낸다. Fig. 6(a)는 스풀의 이동변위를 나타낸 것으로서, 스풀이 주류방향에서 진동함을 보여주고, 또한 입출구 차압의 증가에 따라서 이동변위가 증가와 더불어 그 주기는 작아짐을 알 수 있다. Fig. 6(b)와 (c)는 각각 스풀의 속도와 스풀에 작용하는 힘을 보여주며, 스풀의 이동변위 특성과 유사하다.



(a) Displacement



(b) Velocity



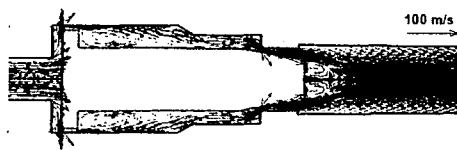
(c) Force

Fig. 6. Spool dynamic characteristics according to various differential pressures

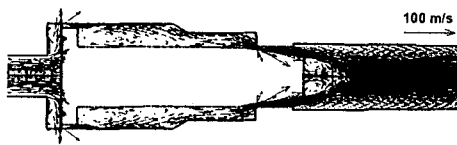
3.2 내부 유동특성

본 연구에서는 Fig. 6(a)에서 마지막 주기인 0.075초에서 0.1초 사이에 대해서 내부 유동특성을 알아본다.

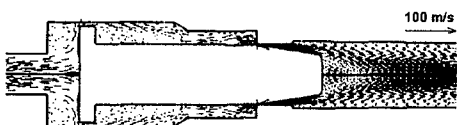
Fig. 7은 차압 50 mmHg에서의 유동변화를 보여준다. 시간이 진행됨에 따라 스푼은 유체력과 스프링의 탄성력 간의 힘의 평형에 의해 주류방향에서 전진과 후진을 한다. 0.075초에서 최대속도는 오리피스에서 93.5 m/s로 나타났다. 그리고, 시간이 각각 0.0812, 0.0878, 0.0938, 0.1초에서 최대속도는 역시 오리피스에서 99.3, 122, 122, 93.1 m/s를 나타내었다.



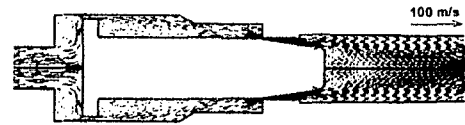
(a) 0.075 sec



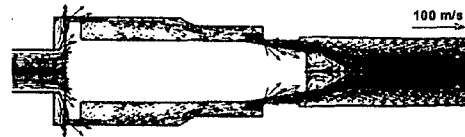
(b) 0.0812 sec



(c) 0.0878 sec



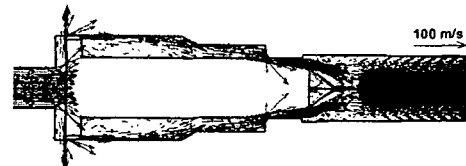
(d) 0.0938 sec



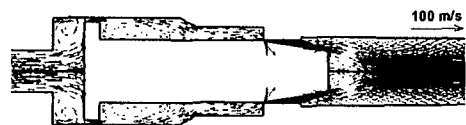
(e) 0.1 sec

Fig. 7 Velocity distribution of differential pressure 50 mmHg

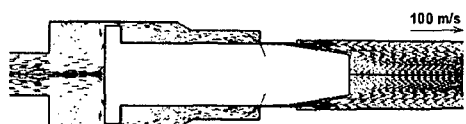
Fig. 8은 차압 100 mmHg 일 때의 속도분포를 보여준다. 최대 속도는 오리피스에서 각각 125, 173, 78.3, 107 그리고 148 m/s를 나타내었다. 스푼이 최대로 전진하였을 때 오리피스의 유로면적은 급격하게 감소하고, 이 때의 유속 또한 감소한다. 이것은 스푼 머리부의 유로 확대와 오리피스 부분의 유로면적이 급격하게 변함에 따른 손실에 기인한다고 여겨진다.



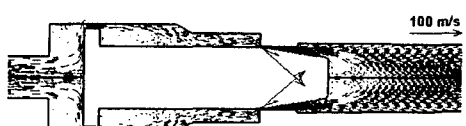
(a) 0.075 sec



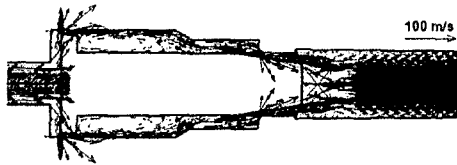
(b) 0.0812 sec



(c) 0.0878 sec

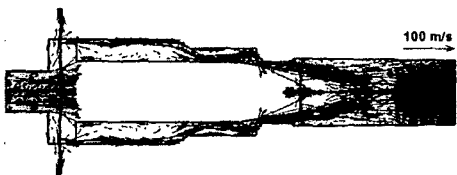


(d) 0.0938 sec

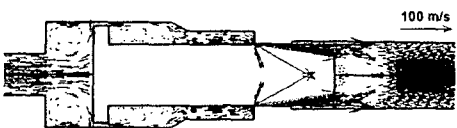


(e) 0.1 sec

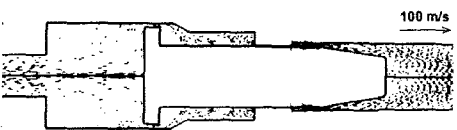
Fig. 8 Velocity distribution of differential pressure 100 mmHg



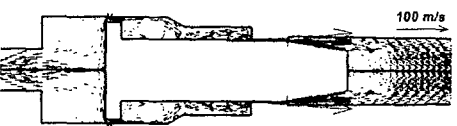
(a) 0.075 sec



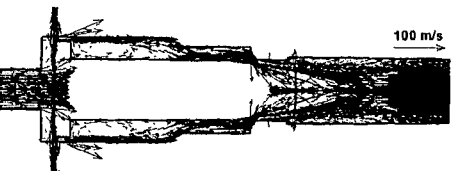
(b) 0.0812 sec



(c) 0.0878 sec



(d) 0.0938 sec



(e) 0.1 sec

Fig. 9 Velocity distribution of differential pressure 200 mmHg

Fig. 9는 입출구 차압이 200 mmHg 일 때 유동변화를 보여준다. 시간이 진행함에 따라 오리피스에서 나타나는 최대속도는 각각 221, 223, 39, 103 그리고 233 m/s 이다. 스풀의 이동변위가 최대인 지점에서 유속의 감소폭은 더욱 커진다.

다. 이것은 차압 100 mmHg에서 설명한 효과가 더욱 강하게 영향을 미치기 때문이라고 여겨진다.

Fig. 10은 각 차압별 출구에서의 유량변화를 보여준다. Fig. 6(a)와 비교하면, 0.075초에서 스풀의 이동변위는 거의 0 mm에 가깝고 이 때의 유량은 최대를 나타낸다. 스풀이 최대로 이동하는 0.0878초에서는 유량이 최소가 됨을 볼 수 있다. 즉, 스풀의 이동변위에 역비례하여 유량이 변화함을 알 수가 있다.

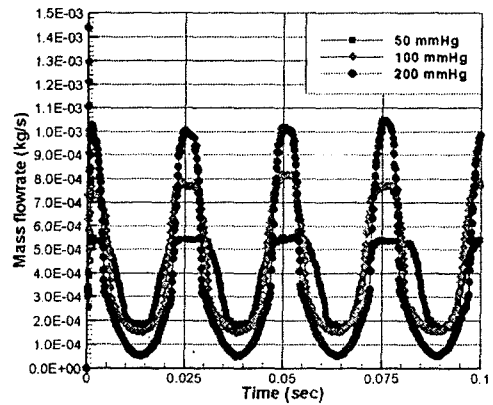


Fig. 10 The change of mass flow rate at outlet according to various differential pressures

4. 결론

본 연구에서는 우리는 스풀의 동적거동을 고려하여 차압에 따른 PCV 밸브의 내부 유동특성을 알아보았다. 이 연구의 결과를 간략히 요약하면 아래와 같다.

- 스풀의 이동변위, 속도 그리고 작용력은 차압의 크기에 비례하고 주기적으로 진동함을 알 수 있다.
- 차압의 증가와 더불어 오리피스에서 나타나는 최대속도는 스풀의 최대 이동변위에서 급격하게 감소한다. 이것은 스풀 머리부에서의 유로면적의 증가 및 오리피스에서의 급격한 유로면적의 감소에 따른 에너지 손실에 기인한다고 여겨진다.
- PCV 밸브의 토출유량은 스풀의 이동변위에 역비례한다.

후 기

본 연구는 BK21 사업단 및 산업자원부 한국 산업기술재단 지원 “지역혁신인력양성사업”으로 수행되었으며, 또한 자료제공에 협조해 주신 (주)이원정공 기술연구소 관계자 분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Donald J. Patterson, 1972, "Emission From Combustion Engines and Their control", Butterworth-Heinemann
- 2) H. C. Dhariwal, 1997, "Control of blowby emissions and lubricating oil consumption in I.C. engines", Energy Convers. Mgmt., Vol.38, No.10-13, pp.1267-1274
- 3) Chuen-Yen Chow, 1979, "Introduction to Computational Fluid Dynamics", John Wiley & Sons Inc., pp.17-33
- 4) J. H. Lee, Y. H. Choi, Y. W. Lee, 2005, "Computational Analysis of Flow Characteristics of a PCV valve", Trans. of KSAE, Vol.13, No.4, pp.66-73