

# PCV 밸브의 스푼 동적거동에 따른 내부유동 특성에 관한 연구

이 종 훈<sup>1\*</sup>, 이 연 원<sup>2</sup>, 김 재 환<sup>3</sup>

## A STUDY ON INTERNAL FLOW CHARACTERISTICS OF PCV VALVE ACCORDING TO SPOOL DYNAMIC BEHAVIOR

J.H. Lee, Y.W. Lee and J.H. Kim

*A PCV valve is a part to control the flow rate of Blowby gas in a PCV system. A PCV system re-burns Blowby gas with fuel in a combustion chamber. Some gas enters to a crankcase room through the gap between piston ring and engine cylinder wall. This gas is called "Blowby gas". This gas causes many problems. In environmental view, Blowby gas includes about 25~35% hydrocarbon(HC) of total generated HC in an automobile. Hydrocarbon is a very harmful pollutant element in our life. In mechanical view, Blowby gas has some reaction with lubricant oil of crankcase room. Then, this causes lubricant oil contamination, crankcase corrosion and a decrease of engine efficiency. Consequently, Blowby gas must be eliminated from a crankcase room. In this study, we simulated internal flow characteristics in a PCV valve according to spool dynamic behavior using local remeshing method. And, we programmed our sub routine to simulate a spool dynamic motion. As results, spool dynamic behavior is periodically oscillated by the relationship between fluid force and elastic force of spring. And its magnitude is linearly increased by the differential pressure between inlet and outlet. Also, as spool is largely moved, flow area is suddenly decreased at orifice. For this reason, flow velocity is rapidly decreased by viscous effect.*

**Key Words:** PCV valve(Positive Crankcase Ventilation valve), 스푼(Spool), 블로우바이 가스(Blowby gas), 오일러 양해법 (Euler's explicit method)

### 1. 서 론

우리의 생활권이 점차 넓어짐에 따라 자동차의 필요성은 중요하게 되었다. 이러한 이유에서, 자동차는 초반에 성능향상을 목표로 연구되어졌지만, 자동차 매연으로 인한 공해로 인해 점차 환경적 측면으로 연구되어지고 있다. 자동차 배기 가스 중에 탄화수소(HC)와 일산화탄소(CO)가 대부분을 차지하고 있고, 블로우바이 가스는 자동차에서 발생하는 전체 탄화수소에서 25~35% 정도를 차지한다.<sup>[1]</sup>

블로우바이 가스는 연소가스가 피스톤 링과 엔진 실린더 벽 사이의 틈을 통해 크랭크케이스 내부로 들어오는 것을 말한다. 이 가스는 크랭크케이스 내부의 윤활유와 화학적 반응을 일으켜 윤활유의 성능 저하 및 기계적 부식을 촉진시키고,

자동차 엔진의 효율 저하를 야기한다. 따라서, 블로우바이 가스는 반드시 크랭크케이스에서 제거되어야만 한다.

블로우바이 가스의 제거방식은 Fig.1에서 보는 바와 같이 개방계와 밀폐계로 구분되어진다. 전자는 블로우바이 가스를 직접 외기로 방출시킴으로서 대기오염을 일으키므로 현재 사용되지 않으며, 후자는 엔진에 피드백(Feedback) 시스템을 설치하여 블로우바이 가스를 다시 연소실에서 재연소 시킴으로써 대기오염 문제가 전혀 없어 현재 사용되는 방식이다.<sup>[2]</sup>

PCV 밸브는 밀폐계 방식에서 중요한 역할을 하는 부품으로서, 엔진 부하에 따라 발생량이 다른 블로우바이 가스의 피드백되는 유량을 제어한다. PCV 밸브는 새로운 엔진이 개발되어 질 때마다 새롭게 설계된다. 그러나, PCV 밸브를 양산하는 국내 업체는 밸브 자체가 소형이고, 이론적 배경이 없어 설계 단계에서 많은 어려움을 겪고 있다. 이것은 전체적으로 새로운 엔진 개발을 더디게 하고 있다.

1 부경대학교 대학원 기계공학부

2 부경대학교 기계공학부 교수

3 (주)이원정공 기술연구소

\* Corresponding author E-mail: ywlee@pknu.ac.kr

본 연구의 목적은 PCV 밸브 내부 유동특성을 파악함과 더불어 수치 가시화를 통하여 설계자에게 도움을 주고자 수행되었다.

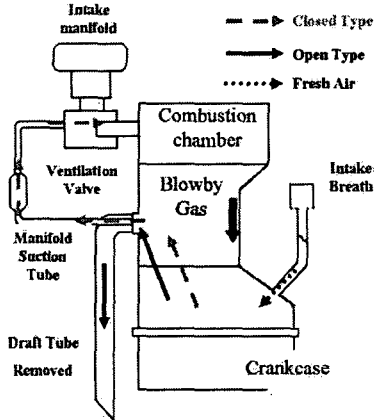


Fig. 1 Schematic diagram of a crankcase ventilation system

## 2. 전산 수치 모사

현재 양산되고 있는 다종의 PCV 밸브는 구조적으로 동일하므로 우리는 임의적으로 Fig.2와 같은 하나의 모델을 선별하여 수치 모사를 수행하였다. 밸브의 구조는 Fig.2에서와 같이 메인바디, 스푼, 리턴 스프링(Return Spring) 그리고 쿠션 스프링(Cushion Spring)으로 구성되어 있다. 블로우바이 가스는 유로의 면적 변화를 가져오는 스푼의 거동에 의해 제어된다.

본 연구에서는 상용 유체해석틀을 사용하였고, 스푼의 동적거동을 모사하기 위하여 자체 서브 루틴(Sub Routine)과 국부 격자생성법(Local Remeshing Method)를 이용하였다.

국부 격자생성법을 사용하기 위하여 우리는 Fig.3과 같이 삼각 격자를 사용하였다. 또한, 축대칭으로 가정하여 계산을 수행하였다.

Table1은 본 연구에서 적용된 경계조건을 나타낸다. 입구에서는 대기압으로 고정하였고, 출구에 세 가지 각각 다른 차압을 적용하였다. 또한, 선행 연구에서 내부 유동이 마하수가 0.3을 넘으므로 압축성을 고려하기 위해 이상기체 상태방정식을 적용하였다.<sup>[1]</sup>

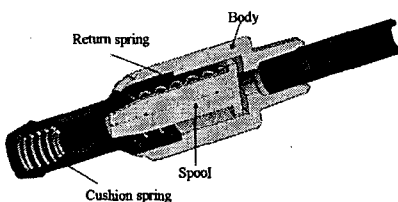


Fig. 2 Sectional view of a PCV valve



Fig. 3 Mesh structure

Table 1 Boundary condition

Boundary Name	Momentum	Energy
Inlet	0 mmHg (Gauge Pressure)	293 K
Outlet	-50 mmHg -100 mmHg -200 mmHg (Gauge Pressure)	Nuemann
Wall	No slip	Adiabatic

### 2.1 스푼 동적거동

스푼은 Fig.4처럼 스프링의 탄성력과 유체력 사이의 힘의 평형 관계에 의해 거동이 일어난다.

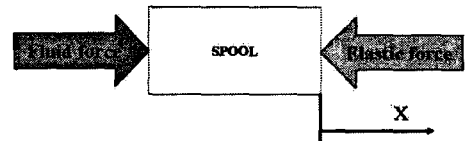


Fig. 4 Free body diagram of a spool

이들 관계를 수식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[1]</sup>

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

$$\frac{dx}{dt} = v \tag{2}$$

여기서,  $v$ 는 스푼의 이동속도(m/s),  $m$ 은 스푼의 질량(m),  $F$ 는 유체력(N)이고, 이것은  $pA$ 와 같다.  $p$ 는 압력(Pa),  $A$ 는 스푼의 이동방향에 수직인 면의 면적,  $k$ 는 리턴 스프링의 탄성계수(N/m) 그리고,  $x$ 는 스푼의 이동변위(m)이다.

식 (1)과 (2)는 오일러 양해법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$v_{i+1} = v_i + \Delta v \tag{4}$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta v \cdot \Delta t \tag{5}$$

여기서, 첨자  $i$ 는 현재 시간스텝,  $i + 1$ 은 다음 시간스텝 그리고,  $\Delta t$ 는 시간스텝의 크기이다.

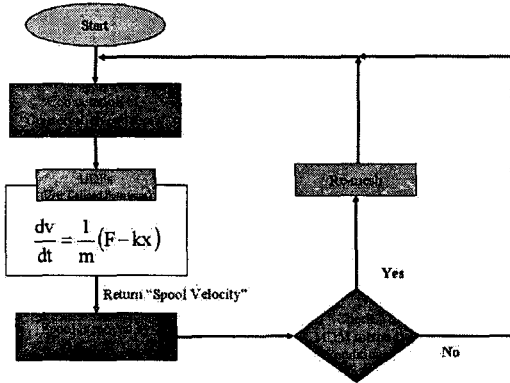


Fig. 5 Flow chart of numerical computation

수치 모사의 전체 흐름도는 Fig. 5와 같다. 현재 시간 스텝에서 유체 지배방정식을 풀면, 우리는 스펴에 작용하는 유체력을 알 수 있고, 이것을 자체 서브루틴에서 식(3)~(5)를 계산하여 값을 반환한다. 그러면, 스펴은  $\Delta x$ 만큼 움직인다. 이렇게 움직인 스펴은 계산 영역의 격자상태 즉, 격자의 최대 및 최소 체적, 왜곡도 등에 영향을 미치게 되고, 이것을 매 시간 스텝마다 확인하여 격자를 국부적으로 재생성한다.

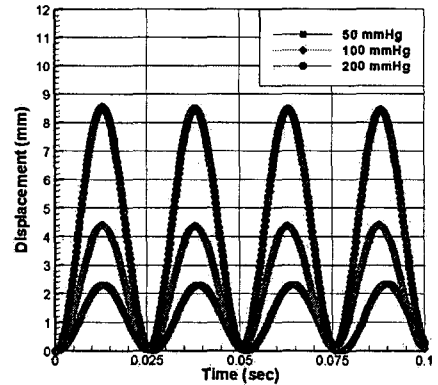
본 연구에서 우리는 0초에서 0.1초까지 수치 모사를 하였고, 시간 스텝은  $1 \times 10^{-5}$  초이다.

### 3. 결과 및 검토

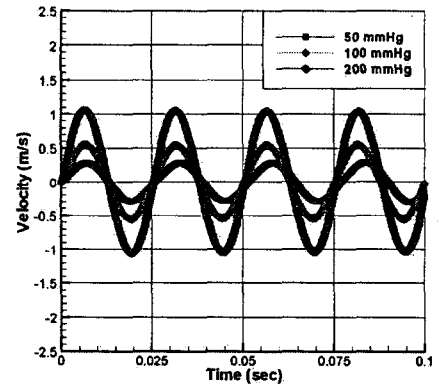
스플의 동적거동에 따른 유동특성은 아래와 같다.

#### 3.1 스펴의 동적거동

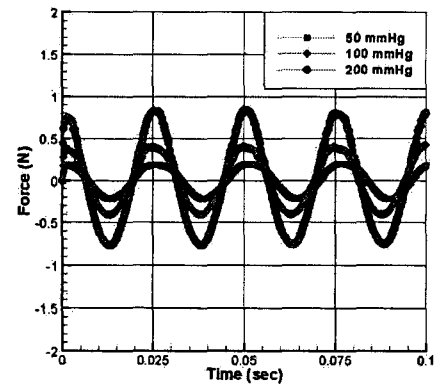
Fig.6은 차압에 따른 스펴의 동적특성을 나타낸 것이다. Fig.6(a)는 스펴의 시간에 따른 변위의 변화를 나타내고, 여기서 우리는 스펴이 유체력과 스프링의 탄성력 사이의 힘의 평형 관계에서 진동하고 있음을 알 수 있다. 스펴의 이동주기는 모든 차압에서 비슷하게 보이나, 차압 50mmHg에서 다른 차압보다는 조금씩 빨라짐을 알 수 있다. 그리고, 이동거리의 차압의 크기에 단순 비례함을 보여준다.



(a) Spool displacement (mm)



(b) Spool velocity (m/s)



(c) Total force (N)

Fig. 6 Spool dynamic characteristics according to various differential pressure

Fig.6(b)와 (c)는 스펴의 이동속도와 스펴 표면에 작용하는 유체력과 스프링 탄성력의 총합의 시간에 따른 변화를 보여주며, 스펴의 이동변위 특성과 유사하게 나타났다.

3.2 유동 특성

스플의 동적거동에 따른 PCV 밸브의 내부 유동의 수치 가 시화는 PCV 밸브 설계자에게 시각적인 정보를 제공함으로 그들이 설계함에 있어 많은 도움이 될 것이다. 본 연구에서는 Fig.6(a)에서 마지막 주기가 일어나는 시간 즉, 0.075초에서 0.1 초 사이에서 유동의 변화를 나타내었다.

Fig.7은 차압 50mmHg의 유동특성을 나타낸다. 시간이 지남에 따라 스펙은 유체력과 탄성력의 힘의 평형에 의해 전후 방향으로 진동함을 보여준다. 0.075초 일 때, 오리피스 영역에서 최대속도는 93.5m/s를 나타내었다. 또한 0.0812, 0.0878,

0.0938, 0.1 초 일 때, 각각 오리피스 영역에서 최대속도 99.3, 122, 122, 93.1m/s를 나타내었다.

Fig.9는 차압 200mmHg에서의 유동장을 보여준다. 각각의 시간에서 오리피스 영역의 최대속도는 221, 223, 39, 103 그리고 233m/s 이다. 0.0878초 일 때, 최대속도는 급격하게 감소한다. 이러한 현상은 오리피스 영역에서의 유로면적이 아주 작 으므로, 점성작용에 의해 야기된다고 여겨진다. 또한, 이것은 차압이 증가할수록 스펙의 이동변위는 커지므로, 차압의 크기 에 비례하여 속도 감소는 증가한다. 또한, 입구측(우측)의 유 동영역은 차압 100mmHg보다 더 증가함으로, 차압이 증가하 여도 유속의 증가는 보이지 않는다.

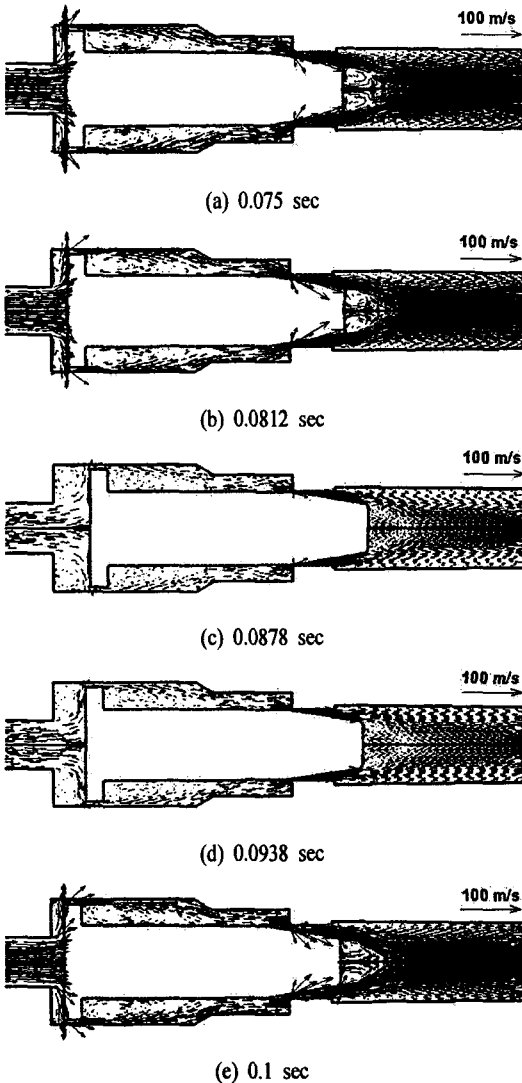


Fig. 7 Velocity distribution of differential pressure 50 mmHg

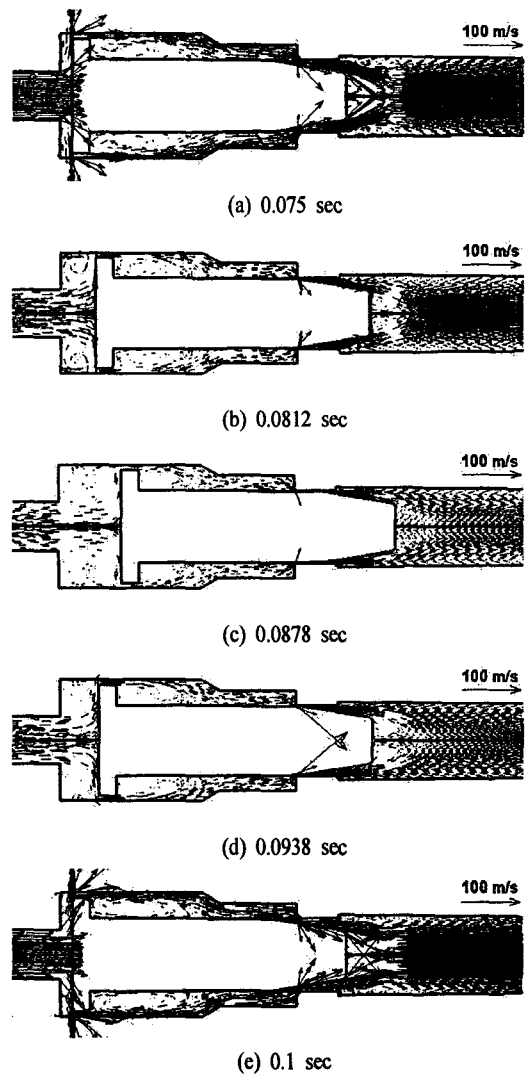


Fig. 8 Velocity distribution of differential pressure 100mmHg

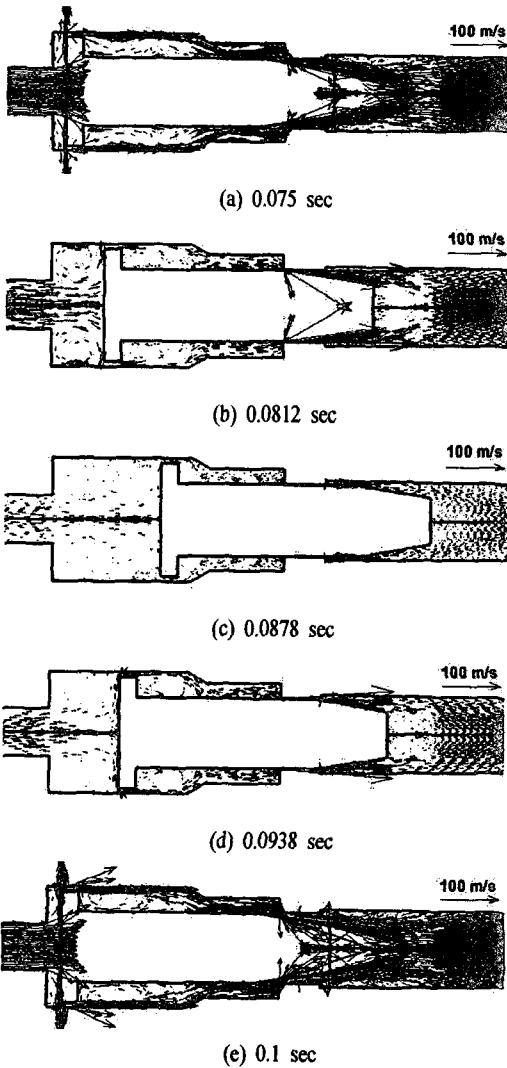


Fig. 9 Velocity distribution of differential pressure 200mmHg

Fig.10은 각각의 차압에서 시간에 따른 출구에서의 토출유량 변화를 나타낸다. 0.075초 일 때, 모든 차압에서 스펴의 이동변위는 거의 0에 가깝고, 0.0878초에서 Fig.6(a)처럼 최대값을 나타내지만, 유량은 Fig.10과 같이 최소 유량을 나타남을 알 수 있다. 즉, 유량은 스펴의 이동변위와 반비례함을 알 수 있다.

4. 결론

우리는 스펴의 동적거동을 고려하여 PCV 밸브의 내부 유동장을 수치 모사하였다. 이 연구의 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

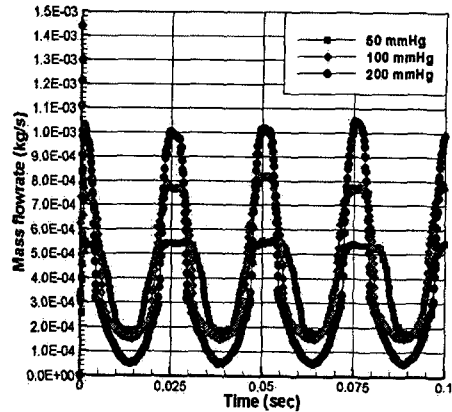


Fig. 10 Change of mass flow rate of each differential pressure at outlet

- (1) 스펴의 동적거동 특성 즉, 이동변위, 이동속도, 작용력은 차압에 단순 비례하여 증가함을 알 수 있었다.
- (2) 차압의 증가에 따라 오리피스 영역에서의 속도는 점성작용에 의해 급감함을 알 수 있었다.
- (3) 출구에서의 토출유량은 스펴의 이동변위에 역비례함을 알 수 있었다.

후 기

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

참고문헌

- [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] 이종훈, 최윤환, 이연원, 2005, "PCV(Positive Crankcase Ventilation) 밸브의 유동특성에 관한 수치해석", Transactions of KASE, Vol.13, No.4, pp66-73
- [4] 이장무, 이종원, 박영필, 1995, "기계진동 -이론과 응용 제 3판", Prentice Hall & 喜重堂, pp.94-105