

PCV 밸브의 설계 프로그램 개발에 관한 연구

이 종 훈⁺ · Md. Tajul Islam⁺ · 이 연 원⁺⁺ · 김 영 덕⁺⁺

A Study on Development of Design Program for PCV Valve

Jong Hoon Lee⁺, Md. Tajul Islam⁺, Yeon Won Lee⁺⁺, Young Duk Kim⁺⁺

Abstract : Automobiles are very important as modern society is developed. Increase of the number of the automobiles cause environmental problem, that is, air pollution. So, many countries are adopting an environmental law. Automobile manufacturing companies have developing methods to prevent air pollution with increase of the efficiency of automotive engines. PCV(Positive Crankcase Ventilation) system which is one of them is made by the closed loop that consists of combustion chamber, crankcase, manifold suction tube and manifold. PCV valve is attached on manifold tube to control the flowrate of blowby gas. PCV valve is an important part in this system but it is difficult to design PCV valve which satisfies the required flowrate of blowby gas. In this study, our purpose is to help a PCV valve designer with the development of a design program. We used 4th order Runge-Kutta method and Bernoulli's equation to analyze the spool dynamic motion. By the comparison between our program and experiment, we think that a PCV designer can use our program in their work place.

Key words : Positive Crankcase Ventilation System(강제 크랭크케이스 환기 시스템), Blowby gas(블로우바이 가스), 4th order Runge-Kutta method, Bernoulli's equation

기호설명

m : Mass of spool, kg

Δp : Differential pressure between inlet and outlet,

Pa

x : Displacement of spool, m

x_c : Distance between spool and cushion spring, m

k : Coefficient of elasticity, N/m

p : Static pressure, Pa

v : Velocity magnitude, m/s

a : Area, m^2

ρ : Density, kg/m^3

Q : Volume flowrate, m^3/s

D : Diameter of orifice, m

d : Diameter of spool, m

1. 서론

현대 사회의 1일 생활권이 광역화 됨에 따라 자동차의 대중화는 급속히 발전하는 추세이다. 수요의 증대와 더불어 자동차 생산업체들 간의 경쟁이 치열해지고 이와 함께 신차 출시 기간이 짧아지고 있다. 이러한 시점에서 자동차 배기가스에 의한 대기오염은 악화되었고, 최근 들어 세계 각국에서 환경규제를 하고 있다. 자동차의 신차 개발에 있어 가장 중요한 것이 엔진부분이고, PCV 밸브는 엔진에 부착되는 소형 밸브로서 엔진 부하에 따라 발생량이 다른 블로우바

⁺ 이종훈, Md. Tajul Islam, 부경대학교 기계공학부 대학원, E-mail: cfd@mail1.pknu.ac.kr, Tel: 051)620-1417

⁺⁺ 이연원, 부경대학교 기계공학부 교수

⁺⁺ 김영덕, 관동대학교 토목·환경시스템공학부

이 가스의 유량을 제어하게 된다.

블로우바이 가스는 연소 후 가스 중 일부가 배기관을 통해 빠져나가지 않고 피스톤링과 실린더 벽 사이의 작은 틈새를 통해서 크랭크케이스실 내부로 유입되는 것을 말하며, 이것은 크랭크케이스 내부의 엔진오일과 화학반응을 통해 크랭크케이스실 내부의 부식을 가속화 시키고, 또한 압력상승으로 인해 엔진효율을 저감시킨다.[1]

PCV 밸브는 자동차의 엔진효율과도 직결되는 중요한 부품이지만, 아직까지 국내에서는 신차 엔진에 따라 달리 요구되는 유량제어 특성을 만족하는 PCV 밸브의 설계에 많은 문제점을 가지고 있다. 이것은 곧 신차 개발 시간을 증대시키고 국내 자동차 생산 업계의 국외 경쟁력을 저하시킨다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 PCV 밸브 설계프로그램을 개발하여 이로 통해 설계된 제품과 현재 생산되고 있는 제품을 비교하여 설계에 적용될 수 있는지를 검토한다. 이러한 연구는 앞으로 설계기간의 단축을 도모하고, 설계자가 쉽게 설계 할 수 있도록 하여 국내 자동차 업계의 국외 경쟁력 향상에 조금이나마 도움이 되고자 한다.

2. 설계 프로그램

2.1 설계 개요

PCV 밸브는 엔진의 블로우바이 가스를 처리하는 회로에 있어서 블로우바이 가스의 유량을 제어하는 역할을 수행한다. 그러나, 자동차 배기량에 따라 요구되는 블로우바이 가스의 유량이 다르므로, 설계자는 각각의 케이스에 따라 밸브의 기하학적 형상을 설계하고 있다. 그러나, 각 케이스 별 유량제어가 제대로 이루어지지 않아 실제 공정 상에서 높은 불량률을 보이고 있는 것이 현실이다. 따라서, 본 연구는 시제품 개발 시 밸브의 기하학적 형상설계 공정을 최적화하기 위한 선행 연구로서 고정된 밸브의 바디형상에 있어서 유량을 직접적으로 제어하는 내부 스펴형상 설계에 그 목적을 두었다.

밸브의 구조는 Fig.1에서와 같이 메인바디, 스펴, 리턴 스프링(Return spring) 그리고, 쿠션 스프링(Cushion spring)으로 구성되어 있다. 여기서, 메인

바디는 PCV 밸브의 설치 위치 및 외적인 조건에 따라 결정되어지므로, 본 연구에서는 블로우바이 가스의 유량을 직접 제어하는 스펴의 형상설계에 그 목적을 둔다.

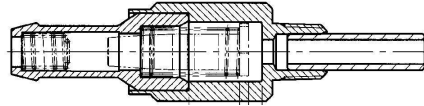


Fig. 1 Schematic diagram of a PCV valve

PCV 밸브는 엔진의 사양에 따라 여러 가지의 유량 특성을 가진다. 밸브의 입출구 차압에 의해 유동이 발생되고, 유체의 의한 유동힘과 리턴 스프링의 탄성힘 사이의 관계에 의해 스펴이 움직이게 되고 이에 따라 유로를 변화시켜 유량을 제어한다. 그러므로, 본 연구에서 가장 중요한 변수는 스펴의 이동변위와 요구 유량특성을 만족하는 스펴의 직경이 중요한 변수이다.

2.2 지배 방정식

선행연구를 통해서 스펴에 작용하는 유동힘은 단지 압력힘만 작용하며 또한, 입출구 차압이 오리피스를 지나는 스펴의 단면에 작용한다는 가정을 사용하여도 무방함을 알 수 있었다.^{[2][3]}

2.2.1 스펴 직경

PCV 밸브는 엔진의 종류에 따라 여러 가지 유량특성을 요구하므로, 오리피스 B지점에서 유량특성을 만족도록 단면적을 결정할 필요가 있다. 메인바디는 앞에서 언급하였듯이 외부조건에 의해 결정되므로, 스펴의 직경을 설계할 필요가 있다. 본 연구에서는 비압축 단열 유동으로 가정하고 베르누이 방정식을 Fig.3의 A, B 구간에 대해 적용하였다.^[4]

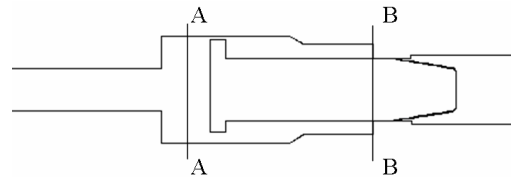


Fig. 2 Section A and B for applying Bernoulli's equation

베르누이 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{p_A}{\rho} + \frac{v_A^2}{2} = \frac{p_B}{\rho} + \frac{v_B^2}{2} \quad (1)$$

비압축성 유체의 연속방정식은

$$a_A v_A = a_B v_B \quad (2)$$

이다. 식(1)과 식(2)를 통해서 B 지점에서의 속도는

$$v_B = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_B}{a_A}\right)^2}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3)$$

이고, 이 때의 오리피스 유량은 다음과 같다.

$$Q_B = v_B a_B \quad (4)$$

또한, B 지점에서의 면적은

$$a_B = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (5)$$

이다. 식(3), (4) 그리고 식(5)를 스펴의 직경 d 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{Q_B^2}{\frac{2\Delta p}{\rho} + \frac{Q_B^2}{a_A^2}}}} \quad (6)$$

2.2.2 스펴 이동변위

스플에 작용하는 외력의 자유 물체도는 Fig.3과 같다.

스플 이동변위 x 는 Newton의 운동법칙에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$m \frac{dv}{dt} = \Delta p A - k_1 x \quad (7)$$

$$m \frac{dv}{dt} = \Delta p A - k_1 x_c - (k_1 + k_2) x \quad (8)$$

여기서, 첨자 1, 2는 각각 리턴 스프링과 쿠션 스프링을 나타낸다.

식(7)은 스펴변위 x 가 초기 상태의 스펴 끝단과 쿠션 스프링 간의 거리 x_c 보다 적을 때, 식(8)은 x_c 보다 클 때 적용된다. 이 식은 초기치 문제로서 4차 Runge-Kutta 방법으로 스펴의 이동변위 x 를 구하였다. [5][6]

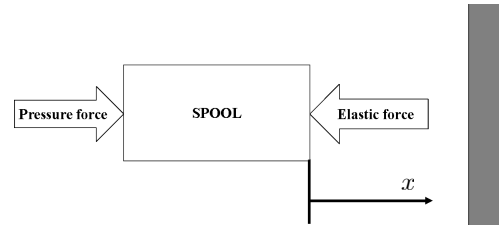


Fig. 3 Free body diagram of a spool

2.3 흐름도

Figure 4는 설계 프로그램의 구성을 개략적으로 나타낸 흐름도이다. 입력값으로 요구유량 케이스 개수, 입출구 차압 및 요구유량, 바다형상정보 그리고, 스펴이 정보를 주면, 스펴의 끝단과 쿠션 스프링 간의 거리를 계산한 후에 스펴의 단면적과 이동변위를 계산하여 스펴형상이 결정되어진다.

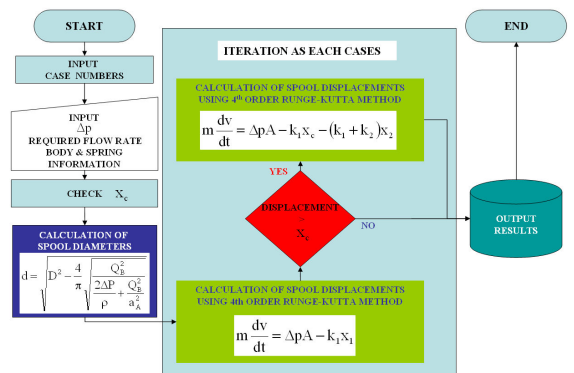


Fig. 4 Flow chart of design program

3. 설계 결과

프로그램에 의한 스푼형상 설계를 현재 양산되고 있는 모델에 대해 적용하여 스푼의 직경, 이동변위 및 유량특성을 비교하여 보았다.

3.1 스푼 직경

PCV 밸브의 내부유동은 오리피스 영역에서 압축성을 나타내지만, 본 연구에서는 단열비압축성 유동으로 가정하여 쉽게 스푼 직경을 계산하였다. Fig.5는 현재 양산되는 제품과 프로그램에 의해 계산된 스푼의 직경을 비교한 것이다. 입출구 차압이 커질수록 프로그램에 의한 결과와 양산되는 제품과의 차이가 줄어들음을 알 수 있고, 차압 100mmHg에서 차이가 많이 나는 것은 이 차압에서 압축성효과가 큼을 나타낸다.

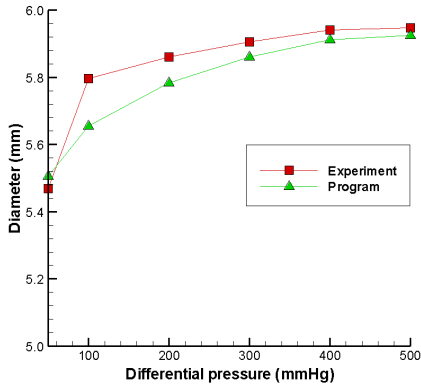


Fig. 5 Comparison of spool diameter between experiment and design program

3.2 스푼 이동변위

Figure 6은 스푼의 이동변위를 비교한 것이다. 차압이 차압이 400mmHg까지는 리턴 스프링만 수축시키므로 선형적으로 이동변위가 증가하지만, 500mmHg에서는 스푼이 쿠션 스프링까지 압축함으로서 나타난다.

또한, 유동힘을 단지 입출구 차압만을 적용하여도 전반적으로 실험값과 잘 일치함을 알 수가 있다.

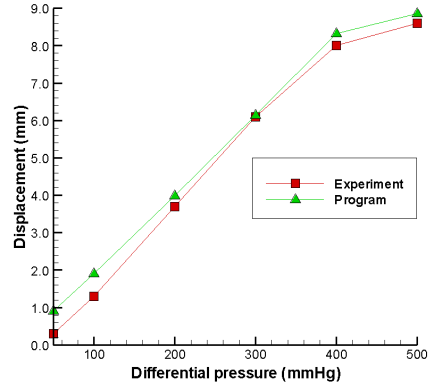


Fig. 6 Comparison of spool displacement between experiment and design program

3.3 유량 특성

본 연구에서 개발된 설계 프로그램을 통해서 제작된 PCV 밸브를 유량측정을 하여 Fig.7에 나타내었다. 차압 50mmHg를 제외하고는 전반적으로 유량이 조금 높게 측정되었으며, 이것은 Fig.5에서와 같이 스푼의 직경이 비교 대상 모델의 값보다 조금씩 작음으로 유량이 크게 나온다는 것에 기인한다. 본 연구에서는 스프링 및 밸브의 형상이 유동에 미치는 영향은 고려되지 않았으므로 설계자가 설계 시 이 프로그램을 사용하기 위해서는 수정계수의 도입이 필요함을 알 수 있다.

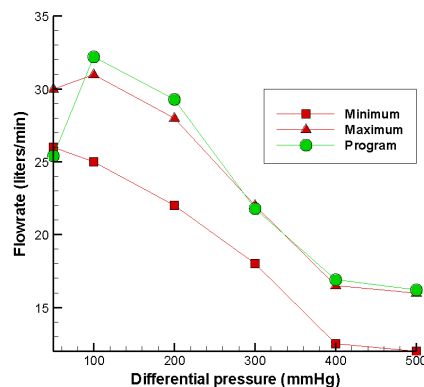


Fig. 7 Comparison of flowrate between experiment and design program

4. 결 론

우리는 스펀의 직경 계산을 위해 유동을 비압축 단열 유동으로 가정하고 베르누이 방정식을 이용하였고, 스펀의 동적 거동을 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하였다. 이를 통해 설계 제작된 PCV 밸브를 현재 양산되고 있는 제품과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 베르누이 방정식을 이용한 스펀의 직경계산은 차압 100mmHg을 기준으로 차압이 증가할수록 실험값과 일치됨을 알 수 있었다.
- 스펀의 동적 거동 계산에서 유동힘을 단지 입출구 차압만을 고려하였지만, 실험과 비교해 보면 스펀의 이동변위를 잘 예측함을 알았다.
- 유량측정 결과를 통해 스펀의 직경계산에서 수정 계수가 요구됨을 알 수 있다

후 기

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

참고문헌

- [1] H.C. Dhariwal, "CONTROL OF BLOWBY EMISSIONS AND LUBRICATING OIL CONSUMPTION IN I.C. ENGINES", Energy Convers. Mgmt, Vol. 38, No. 10-13, pp.1267-1274, 1997.
- [2] 리리, 이종훈, 최윤환, 이연원 “PCV(Positive Crankcase Ventilation) 밸브의 유동특성에 관한 수치해석”, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp.147-154, 2004.
- [3] 이종훈, 리리, 김영국, 최윤환, 이연원 “Moving Mesh를 이용한 PCV 밸브의 내부유

동 수치해석,” 한국전산유체공학회 추계학술대회 논문집, pp. 19-24, 2004.

- [4] 손병진, 맹주성, 이상환 “詳說 流體力學(上)”, 喜重堂, pp. 485-496, 1994
- [5] 홍준표, “C 및 FORTRAN에 의한 컴퓨터 수치해석”, 문운당, pp.261-271, 2004.
- [6] 이장무, 이종원, 박영필 공역 “기계진동 제3판”, 喜重堂, pp.94-105, 1995