



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

가변 체적 헬름홀츠 공진기에 의한 유사
흡기시스템의 비정상유동 특성



강 경 은

공학석사 학위논문

가변 체적 헬름홀츠 공진기에 의한 유사
흡기 시스템의 비정상 유동특성

지도교수 고 대 권

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기계시스템 및 조선공학과

강 경 은

강경은의 공학석사 학위논문을 인준함.

2008년 12월 19일



목 차

| | |
|---|----|
| Abstract | iv |
| 기호 설명 | v |
| | |
| 제 1 장 서론..... | 1 |
| 제 2 장 이론 해석 | 5 |
| 2.1 체적효율의 정의..... | 5 |
| 2.2 체적효율과 엔진성능..... | 6 |
| 2.3 흡기관 내 유체의 동적효과..... | 6 |
| 2.4 배기관의 동적효과..... | 8 |
| 2.5 흡·배기 간섭..... | 8 |
| 2.6 정상파..... | 8 |
| 2.7 공진효과..... | 9 |
| 2.8 헬름홀츠 공진기..... | 9 |
| 제 3 장 유사 흡기시스템의 비정상 유동특성..... | 13 |
| 3.1 실험장치..... | 13 |
| 3.2 실험방법..... | 24 |
| 3.3 실험결과 및 고찰..... | 25 |
| 3.3.1 유량변화에 따른 유동특성..... | 25 |
| 3.3.2 로터리밸브 회전수 변화에 따른 유동특성..... | 31 |
| 3.3.3 공진기 개폐에 따른 흡기압력의 변화..... | 36 |
| 3.3.4 공진기 체적, 펄스 생성기(pulse generator) 회전속도 변화에 따른 유량변화 | 42 |
| 제 4 장 결론..... | 46 |
| 참고 문헌 | 47 |
| 감사의 글 | 49 |

Fig 목차

| | |
|--|----|
| Fig. 1 Schematic of simple Helmholtz resonator | 12 |
| Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus | 14 |
| Fig. 3 Schematic view of variable Helmholtz resonator | 19 |
| Fig. 4 Schematic view of pulse generator | 22 |
| Fig. 5 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm ³ /h-128 rpm | 26 |
| Fig. 6 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm ³ /h-356 rpm | 27 |
| Fig. 7 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm ³ /h-600 rpm | 28 |
| Fig. 8 Variation of measured intake pressure with various condition at 60 Nm ³ /h-356 rpm | 29 |
| Fig. 9 Variation of measured intake pressure with various condition at 60 Nm ³ /h-600 rpm | 30 |
| Fig. 10 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm ³ /h-600 rpm | 32 |
| Fig. 11 Comparison of intake pressure by 356rpm variance at 60 Nm ³ /h | 33 |
| Fig. 12 Comparison of intake pressure by 600rpm variance at 60 Nm ³ /h | 35 |
| Fig. 13 Variation of intake pressure with resonator close opening condition | 36 |
| Fig. 14 Variation of intake pressure with resonator half opening condition | 37 |

| | |
|---|----|
| Fig. 15 Variation of measured intake pressure with various condition at 90 Nm ³ /h-128 rpm | 39 |
| Fig. 16 Variation of measured intake pressure with various condition at 90Nm ³ /h-356rpm | 40 |
| Fig. 17 Variation of measured intake pressure with various condition at 90Nm ³ /h-600rpm | 41 |

Photo 목차

| | |
|--|----|
| Photo 1 Photograph of experimental apparatus | 15 |
| Photo 2 Photograph of data acquirement apparatus | 16 |
| Photo 3 Photograph of variable Helmholtz resonator | 20 |
| Photo 4 Photograph of pulse generator | 23 |

Table 목차

| | |
|--|----|
| Table 1 Dimension of intake system | 18 |
| Table 2 Requirement of experiment | 24 |
| Table 3 Air flow variable of intake system | 43 |

Characteristics of Unsteady Flows in a Semi-Induction System

by a Variable Volume Helmholtz Resonator

Kyoung - Eun Kang

*Department of Mechanical Systems
and Naval Architecture Engineering,
The Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

Unsteady flows in a semi-induction system was investigated to verify their characteristics. A semi-induction system was contrived and made to verify the flow characteristics in an intake system. To attain an unintact wave of an intake pulse, a single semi-intake system was adopted as a test rig. The system consisted of an intake pipe and a rotary valve as a pulse generator, and a variable volume Helmholtz resonator. The variable volume Helmholtz resonator was mounted in the intake pipe to enhance a breathing capacity and engine performance. The phase and amplitude of the pulsating flow in an unsteady flow system were found to affect the charging capacity significantly. The behavior of pressure wave, their phase and amplitude were investigated in various regions. Some of the results obtained from experiments were described.

기호 설명

| | |
|------------|---|
| a | : 흡기 음속 [m/s] |
| A | : 흡기관의 단면적[cm ²] |
| G_s | : 흡입 공기량[kgf/s] |
| f | : 주파수[hz] |
| L | : 흡기관 길이[cm] |
| L | : 흡기 유효 길이[cm] |
| Δm | : 질량 미소 변화량[kg] |
| m | : 질량[kg] |
| P_s | : 무과급 기관에서의 흡기구 압력[mmHg] |
| Δp | : 압력 미소변화량[Pa] |
| r_m | : 잔류가스와 새로운 급기와의 혼합가스의 비중량 |
| r_r | : 비중량[kgf/m ³] |
| T_s | : 무과급 기관에서의 흡기구 온도[°C] |
| V | : 실린더 체적[m ³] |
| V_c | : 연소실 체적[cm ³] |
| V_{eh} | : 유효행적용적[cm ³] |
| V_h | : 행정체적[cm ³] |
| V_r | : 배기밸브가 닫히는 시점에서 실린더 내에 잔류하는 가스의 용적[cm ³] |
| V_s | : 실린더 체적[cm ³] |
| Δx | : 거리 미소 변화량[m] |
| \ddot{x} | : 가속도[m/s ²] |

그리스 문자

- η_v : 체적효율 [%]
 η_{vo} : 외기상태를 기준으로 한 체적효율 [-]
 κ : 스프링 상수 [N/m]
 π : 원주율
 ρ : 밀도 [kg/m³]
 $\Delta\rho$: 밀도 미소 변화량 [kg/m³]
 ω : 각속도 [rad/s]

약어

- ABDC : 하사점 후
BDC : 하사점
CR : Close Resonator
LR : Large Resonator (2355 cc)
SR : Small Resonator (1177 cc)
VHR : Variable Helmholtz Resonator

제 1 장 서 론

산업화가 가속화 되면서 자동차 엔진도 눈부신 발전을 이룩해왔다. 그 동안의 엔진은 출력향상을 위한 경쟁이었지만, 70년대와 80년대 두 번의 오일과동을 거치면서 엔진산업은 출력향상에서 연비향상 쪽으로 방향을 선회하기 시작하였다. 그리고 1997년 도쿄의정서가 체결되면서 탄소배출량에 대한 경각심이 늘어나 선진국을 우선으로 탄소배출량 규제가 시작되었고, 점차 그 대상을 확대함에 따라 우리나라 등의 개도국에서도 본격적으로 탄소배출 문제 등의 환경문제에 관심을 갖기 시작하였다. 2000년대 들어서면서 많은 오염물의 배출로 인해 우려했던 자연재해가 세계 곳곳에서 현실화 되자 뒤늦게 각 나라마다 환경문제의 심각성이 크게 부각되었다.

빠른 산업화와 급속한 대도시의 팽창은 사람들의 삶을 윤택하게 해주었으나 극심한 환경오염이 발생했는데, 막대한 양의 탄소배출은 지구온난화를 점점 가속화 시켰고, 프레온 가스등의 오존층 파괴현상은 계속 증가하였다. 선진국을 중심으로 많은 나라들이 환경에 대한 관심이 날로 증폭되고 있으며 각종 규제가 엄격해지고 있다. 또한 산업체반이 흔들릴 정도의 극심한 고유가는 에너지원이 없는 우리나라에 더욱 막대한 손실을 미치고 있으며 우리의 생활과 밀접하게 연관된 자동차 운행에도 크게 지장을 주고 있다. 이에 따라 현대생활에 필수지만 배기가스로 인한 심각한 대기오염과 고유가 상황에 직면한 자동차 엔진에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이러한 문제해결 방안으로 미국이나 일본등지에서는 하이브리드 방식이나 대체연료 개발에 주력하였고, 유럽등지에서는 엔진성능 향상을 위한 엔진개발에 주력하였다. 하지만 하이브리드나 대체연료는 일산화탄소 배출량을 줄이는데 혁신적이지만 막대한 개발비용 때문에 상용화시 고가의 가격을 감수해야하는 단점이 발생하였다. 엔진의 연비향상을 위한 노력은 기존엔진의 연료사용량보다 혁신적으로 개선되어지고 그에 따라 일산화탄소 배출량도 줄어

들면서 현재까지는 엔진 연비향상 쪽으로 더욱 무게를 두고 연구를 하고 있는 실정이다. 특히 오염배출이 많은 디젤엔진의 연구 방향은 연비향상에 의한 연료소비율 개선, 연료비 절감, 배기오염물 감소에 관한 연구 등으로 집중되고 있다.

최근 국내에서도 고유가와 각종 환경규제에 대비하여 높은 출력과 중량비, 연료소비율 향상과 낮은 오염물 방출수준을 실현하기 위한 많은 노력이 있으며 실제로 그러한 노력에 결과로 CRDI, VVT, 그리고 VGT등이 개발되어 지속적으로 연구되어지고, 더불어 공진기(resonator), 흡·배기관 튜닝 등이 성능향상을 위해 연구되어지면서 연비가 뛰어난 자동차가 많이 개발되고 있다.

엔진 성능은 급기성능에 비례한다. 하지만 일반적으로 엔진의 상용회전수에서 엔진성능이 최대가 되도록 엔진을 설계하기 때문에 상용 회전수를 벗어나는 구간에서는 연비가 떨어지고 환경 오염물질을 많이 배출하게 되므로 이 영역에 대한 성능개선의 연구가 절실히 필요한 시점이다¹⁾. 특히 배기가스와 엔진성능과는 밀접한 관계가 있으며 이는 상대적인 관계를 보인다²⁾. 엔진의 중·저속구간에서 불연소 되어진 가스의 배출문제가 대두되고 있으며 이를 근본적으로 개선하기 위하여 흡기관의 튜닝을 통한 체적효율 향상이라든지 배기관의 해석 등 엔진의 흡·배기 시스템의 비정상유동(unsteady flow)의 물리적 현상에 대한 이해와 해석이 필요하다³⁾.

그 동안의 많은 연구는 연소 과정중의 실린더 내의 압력변동과 체적효율 향상에 따른 고속, 고출력을 발생하기 위한 연구가 주류를 이뤘지만 그에 못지않게 저속회전 영역에서의 체적효율 향상과 그에 따른 배기오염물 절감에 대한 연구도 절실한 실정이다^{3)~7)}.

일반적으로 이론 공연비 조건에서 체적효율은 실린더 안으로 유입되는 혼합기 또는 공기 질량 유량에 비례하며 기관 출력은 체적효율에 비례한다. 체적효율의 최대값은 엔진의 회전속도, 흡·배기관 매니폴드의 형상, 밸브 개구면적, 밸브 타이밍 및 밸브 오버랩기간에 좌우되는데 엔진 성능, 토크특성 및 오염물 방출

수준에 커다란 영향을 끼친다⁴⁾. 따라서 저속구간의 체적효율 향상을 위해서는 이러한 것들의 연구가 종합적으로 이루어져야 한다.

특히 흡·배기관에 맥동하는 압력파가 체적효율에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 영향을 주는 흡·배기 밸브 개폐시기의 파의 변형에 대해서 자세히 이해할 필요가 있다. 이 압력파는 매우 복잡한 물리적 과정을 수반한다. 따라서 압력파의 전파과정의 일부분인 파의 생성과 소멸 현상에 대한 물리적 해석은 매우 중요하다

흡·배기관 속을 진행하는 파의 유동특성은 양방향성을 갖고 전파되는데 압력파인 전진파와 팽창파인 후진파로 구분할 수 있다. 흡기 시스템에서 파의 생성은 엔진 구동 시 피스톤의 하강으로 인하여 부압파가 형성되고 이 파가 흡기관의 열린 끝에서 반사되어 되돌아올 때는 위상이 뒤바뀌어 정압파가 되며 두 파가 중첩이 되어 사인곡선 형태(sinusoid)의 파를 형성한다.

Ohata등은 4기통 엔진의 흡기 입구 압력 선도를 계측·분석하여 체적효율과 입구압력 변동과의 상관관계를 명확히 구명함과 동시에 흡기시스템의 고유진동수를 계산하여 흡기시스템의 설계요소와 입구 압력변동과의 상관관계를 규명하였다⁸⁾.

Broome은 흡기관에서의 압력변화에 의한 맥동효과와 관성효과에 따르는 ram의 양에 대한 이론적 해설을 통해 체적효율의 변화를 연구하였다⁹⁾.

Jaward는 헬름홀츠 공진기 이론으로부터 설계를 용접등의 간단한 방법을 통하여 체적효율을 개선시키는 노력을 하였다¹⁰⁾.

Matsumoto는 흡기관 사이에 조절 밸브를 설치하여 엔진회전속도 변화에 대하여 흡기관 길이를 제어함으로써 체적효율을 개선하는 방식으로 가변 흡기 시스템을 연구하였다¹¹⁾.

S. M. Hanriot등은 시스템의 효율을 증대하기 위한 맥동류의 실험과 계산 기술에 관하여 연구하였고, 유체 유동 실험장치(flow bench)등을 통한 실험에서 유체의 역학적인 개구면적과 기하학적인 개구면적이 서로 다를 수 있음을 확인

하였다¹²⁾.

Endo등은 인위적 점성계수를 사용하지 않고도 정확한 불연속성(discontinuity, 급격한 압력변화, open end 등)을 다룰 수 있는 Random-Choice Method 방법을 사용하여 왕복동 엔진의 배기관에 불연속적 shock wave를 분석하였다¹³⁾.

실제의 대기통 엔진에서는 인접 실린더의 간섭에 의한 영향으로 흡기관안의 공기 유동은 더욱 맥동이 심하게 되어 해석이 곤란하다. 본 연구에서의 실험 방법은 인접 실린더로부터 간섭 받지 않은 순수한 흡기 파동을 관찰하기 위하여 엔진의 흡기 시스템과 유사한 흡기관을 설계 제작하고 구성하였으며 엔진에서의 피스톤과 밸브에 의하여 발생하는 맥동과 같은 효과를 내기 위해 펄스 생성기(pulse generator)를 장착하고 여기에 더하여 가변 헬름홀츠 공진기를 부가한 유사 흡기시스템을 만들어 공진기 체적변화, 펄스 발생기의 회전속도 및 유체의 유량의 증가에 따른 맥동의 변화를 효과적으로 볼 수 있게 제작하였다. 그리고 펄스발생기 입구측과 출구측의 압력변화를 통한 유량의 차이를 비교하고 또한 흡기밸브 역할을 하는 펄스 생성기의 열림 각도에서 각 회전속도와 공진기 체적변화를 통한 파의 분석을 해보았다.

따라서 본 연구의 목적은, 과급조건하의 가변체적 헬름홀츠 공진기의 유동 특성과 흡기관 안의 유동특성이 과급디젤엔진 급기 성능에 미치는 영향을 알기위해, 복잡한 디젤엔진의 흡기관 구조를 단순화된 실험장치로 모형을 만들어 비정상유동에 대한 이해와 더불어 엔진의 급기 성능에 미치는 영향에 대한 기초 자료 획득을 목적으로 한다.

제 2 장 이론 해석

2.1 체적효율의 정의

체적효율(volumetric efficiency)이란 한 흡기 기간 중에 실린더 안에 채워지는 공기의 질량을 행정용적을 채우는 공기의 질량으로 나눈 것을 의미한다.

체적효율은 엔진출력, 토크특성, 연료소비율 그리고 배기오염물 방출에 많은 영향을 미친다. 기관 출력은 실린더내로 흡입되는 혼합기 또는 공기의 질량 유량에 비례한다. 일반적으로 실린더내로 흡입되는 새로운 급기의 체적은 그 직전의 사이클에서 일을 행한 가스를 배출한 다음 실린더 내에 잔류하는 잔류가스의 압력과 온도, 또한 가열된 연소실을 구성하는 각부의 온도 등의 영향을 받아 행정체적보다 작은 값으로 된다. 무과급 기관의 경우 흡기 입구에 있어서 상태가 압력 p_s , 온도 T_s 일 때 체적효율은 다음 식으로 표시된다.

$$\eta_v = V_s / V_h = G_s / (r_s \cdot V_h) \quad (2.1)$$

윗 식의 r_s 는 외기의 상태가 압력 p_o , 온도 T_o 일 경우에는 $r_s = r_o$ 가 된다. 과급기관의 경우에는 외기상태를 기준으로 한 체적효율을 η_{vo} 라 하면 η_v 와의 관계는 $\eta_{vo} = \eta_v (r_s / r_o)$ 로 된다.

4행정기관에서는 배기밸브가 닫히기 전에 흡기밸브가 열리고 새로운 급기의 흡입이 시작된다. 배기밸브가 닫힌 시점에서 실린더 내에 새로운 급기의 중량은 다음식과 같다.

$$G_s = (V_c + V_{ch})r_m - V_r \cdot r_r \quad (2.2)$$

(2.1)식과 (2.2)식으로부터 체적효율 η_v 가 구하여 진다.

$$\eta_v \cdot r_s \cdot V_h = (V_c + V_{eh})r_m - V_r \cdot r_r \quad (2.3)$$

$$\therefore \eta_v = \frac{(V_c + V_{eh})}{V_h} \cdot \frac{r_m}{r_s} - \frac{V_r}{V_h} \cdot \frac{r_r}{r_s} \quad (2.4)$$

2.2 체적효율과 엔진성능

일반적으로 이론 공연비 조건에서 체적효율은 실린더 안으로 유입되는 혼합기 또는 공기의 질량유량에 비례하며 기관 출력은 체적효율에 비례한다. 체적효율의 최대값은 엔진의 회전속도, 흡·배기관 매니폴드의 형상, 밸브의 개구면적, 밸브 타이밍 및 오버랩기간에 좌우되며 엔진 성능, 토크특성 및 오염물 배출에 커다란 영향을 미친다⁴⁾.

흡기관 튜닝은 흡기 밸브가 닫히는 순간에 압력파의 최대 진폭이 오도록 흡기관 길이를 최적화하는 방법과 흡기밸브의 닫힘 각과 밸브 양정을 제어하는 수단으로 체적효율을 향상시킬 수 있다.

2.3 흡기관내 유체의 동적효과

가스가 관속에 있을 경우 그 가스는 한 개의 기체 기둥으로 생각할 수 있으며 질량과 동시에 탄성을 가지므로 그의 운동에 있어서는 압력진동을 일으킨다. 흡기 밸브가 닫히는 시기는 피스톤이 흡기 행정 시 BDC에 도착했을 때, 밸브가 그 시점에 바로 닫히는 것이 아니라 피스톤이 압축 행정을 위해 다시 올라가기 시작하는 시점에도 밸브는 열려 있다. 이 방법에 따라 흡기관의 경우 이 진동을 피스톤의 운동에 맞추면 동조현상을 일으켜서 실린더

내로의 공기 유입량이 많아지고 체적효율은 증가한다. 엔진이 고속일 때 유체의 빠른 관성으로 인하여 체적효율을 높일 수 있는 관성램과 정상파(standing wave)의 크기와 위상을 이용하여 체적효율을 높일 수 있는 파동램이 있다. 둘은 상태조정이 가능하고 보통의 범위안에 항상 같이 존재한다⁹⁾.

1) 관성효과 (inertia effect)

유체의 관성력을 이용한 것으로서 피스톤 속도는 흡기 행정의 중간지점을 지날 때 최대이나 중간지점을 지나면서 가속도는 감소하기 시작한다. 그러나 흡입되던 공기는 관성의 증가로 더욱 가속되어 피스톤 정부에 차곡차곡 압축되기 시작한다.

흡기관 안에서는 피스톤 가속도의 감소로 인하여 유입되던 공기의 관성 에너지가 압력에너지로 전환된다. 흡기밸브가 닫히는 시점에 최대압력이 흡기 밸브 부근에 발생하면 실린더 내에 가장 밀도가 높은 공기가 충전된다. 즉 관성효과란 흡기 행정 후반부에 흡기 밸브 쪽으로 들어오는 정압파에 의하여 체적효율이 향상되는 것을 말한다. 밸브의 닫힘이 위상보다 빠르면 공기유입은 부족하게 되고 늦으면 일단 들어간 공기의 일부는 다시 역류하여 최고의 효과를 얻지 못한다. 엔진 회전수가 증가할수록 관성효과는 커진다.

2) 파 효과 (pulsation effect)

흡기 밸브가 닫히는 순간 실린더로 유입되던 흡기관 안쪽 공기의 운동 에너지는 순간 압력에너지로 바뀌게 된다. 이때 발생하는 파는 흡기관 안에서 진동을 계속하며 정상파 형태의 잔류파를 형성하는데 이 정상파 형태의 잔류파가 실린더로 유입되는 순간의 타이밍을 이용하면 체적효율을 높힐 수가 있다.

흡·배기 과정 중에 엔진 매니폴드 안에 생긴 파는 압축성 유체인 공기와 배기가스에 작용하게 되고 이때의 압력파가 매니폴드를 통하여 전파되는데 이

압력파는 유체에 대해 음속으로 모든 방향으로 전파된다. 흡기관의 잔류과가 정(正)의 압력 상태(positive pressure condition)로 다음 흡기 행정에 흡입되어 체적효율이 향상되는 것을 과 효과라고 말하며 맥동효과라고도 불린다.

2.4 배기관의 동적효과

배기밸브가 열린 후 실린더 내의 압력은 정상적으로 흡기관의 경우와 비슷하다. 배기밸브가 열리면서 실린더 내는 급격히 압력이 강하하고 배기관내 배기가스의 배출로 압력이 급상승하면서 맥동이 일어나게 된다. 이와 같이 배기밸브 출구에 부압이 있는 경우에는 배출작용을 돕고, 밸브오버랩(valve overlap) 기간 중에 부압이 형성되면 잔류가스를 뽑아내고 체적효율을 증대시킬 수 있다. 특히 배기밸브가 열리는 시점의 유속은 음속이고 때문에 동압도 커서 흡기관의 영향보다 배기관의 영향이 더 크다.

2.5 흡·배기 간섭

다기통 엔진에서의 흡·배기관은 각 실린더에서의 압력파가 서로 간섭을 하여 위상과 진폭이 변한다. 실제 압력파의 형상은 각각의 압력파가 합성되어 이루어진다. 그러므로 실제 엔진의 흡·배기관에서 맥동에 의한 간섭현상 때문에 엔진의 체적효율 향상을 이루기가 무척 어렵다. 이것을 흡·배기관의 간섭이라고 부른다. 일반적인 엔진 동적효과의 최적조건은 회전속도에 의해 이루어지지만 엔진의 회전범위가 넓어 응용하기가 어렵다.

2.6 정상파 (standing waves)

한쪽 끝이 고정된 줄에서 줄을 타고 나아가는 파가 고정단에 계속해서 들어

오는 경우를 생각하면 들어오는 입사파와 반사파는 줄의 각 점에서 중첩이 되고 그 결과 몇 개의 부분으로 나뉘어서 진동하게 되는데 이 파는 강하게 진동하는 부분과 진동하지 않고 그 자리에서 진동만하는 파가 된다. 이와 같이 진동하지 않고 정지된 파를 정상파라 한다.

2.7 공진효과(resonance effect)

흡기 밸브가 닫혀 있을 때, 흡기관내 정압파의 지속적인 반사로 공진하면서 사인파 형태의 정상파(standing waves)가 잔류파로 존재하게 된다. 또한 저속 공진회전수 피크는 흡기 매니폴드의 전체의 크기에 영향을 받고 고속 공진회전수는 1차 흡기관과 실린더 크기에만 영향을 받는다. 이때 1차 흡기관의 열려있는 끝에서 위상이 같을 때, 1차 흡기관과 플리넘 사이의 공기 질량 유동율은 임의의 조화공진(arbitrary harmonic mass flow rate excitation)을 하므로 발산한다. 그 결과 진폭이 커진다^{4,8)}.

2.8 헬름홀츠 공진기

흡기 시스템에서 사용되는 헬름홀츠 공진기 모델은 흡기 행정에서 피스톤의 움직임에 의하여 형성된 실린더 속의 진공이 파이프속의 공기의 질량을 가속 시킴으로서 공진기 목(throat)안의 기주의 진동(vibration of air column)이 흡입 작용에 가담하면서 공기 질량 유동률에 변화를 주고 결국 체적효율에 영향을 끼친다. 이 모델은 자유도의 수에 따라서 자유도 개 수 만큼의 공진회전수 피크를 갖는 것으로 알려져 있다. 공진기를 부착하는 경우 고유진동수를 더 낮게 해줌으로써 공진의 기회가 많아진다. 이 시스템의 장점은 흡기관의 길이를 길게 연장하지 않아도 특정 영역 특히 저속구간 및 과도기 체적효율을

개선시킬 수 있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 공진기는 목과 체적으로 구성된다. 체적이 변하는 직경이 굵은 관(실린더)에 가는 관(흡기관)이 연결된 것으로 간주하면, 실린더를 V , 흡기관 길이를 L , 파이프의 단면적을 A 라고 하고 이때의 파이프 안의 공기 dx 가 실린더 안으로 들어간다고 생각하면, 실린더 안으로 들어온 공기의 질량은 다음과 같다.

$$\Delta m = \rho A \Delta x \quad (2.5)$$

실린더 안으로 질량이 유입되게 되면, 그 결과 밀도가 증가하여 $\Delta \rho = \Delta m / V$ 가 된다. 이 변화가 가역적으로 일어날 수도 있고, 상당히 빨리 일어나서 열전도가 중요하지 않다고 가정하면 등 엔트로피 조건에서 밀도의 변화는 압력의 변화로 표시할 수 있다.

$$\frac{\Delta P}{\Delta \rho} = a^2 \quad (2.6)$$

여기에서 a 는 등 엔트로피 일 때의 음속이다. 이제 압력변화와 면적의 곱은 힘의 변화가 된다.

$$\Delta F = \Delta PA = a^2 A \Delta \rho = \frac{a^2 A^2 \rho \Delta x}{V} \quad (2.7)$$

계수 Δx 의 오른쪽은 스프링 상수 k 로서 단위 변위당 힘을 뜻한다.

$$k = \frac{a^2 A^2 \rho}{V} \quad (2.8)$$

이 파이프 속의 공기의 질량을 m 이라고 하면, $m = \rho AL$, 이 질량의 운동 방정식은 아래와 같이 주어진다.

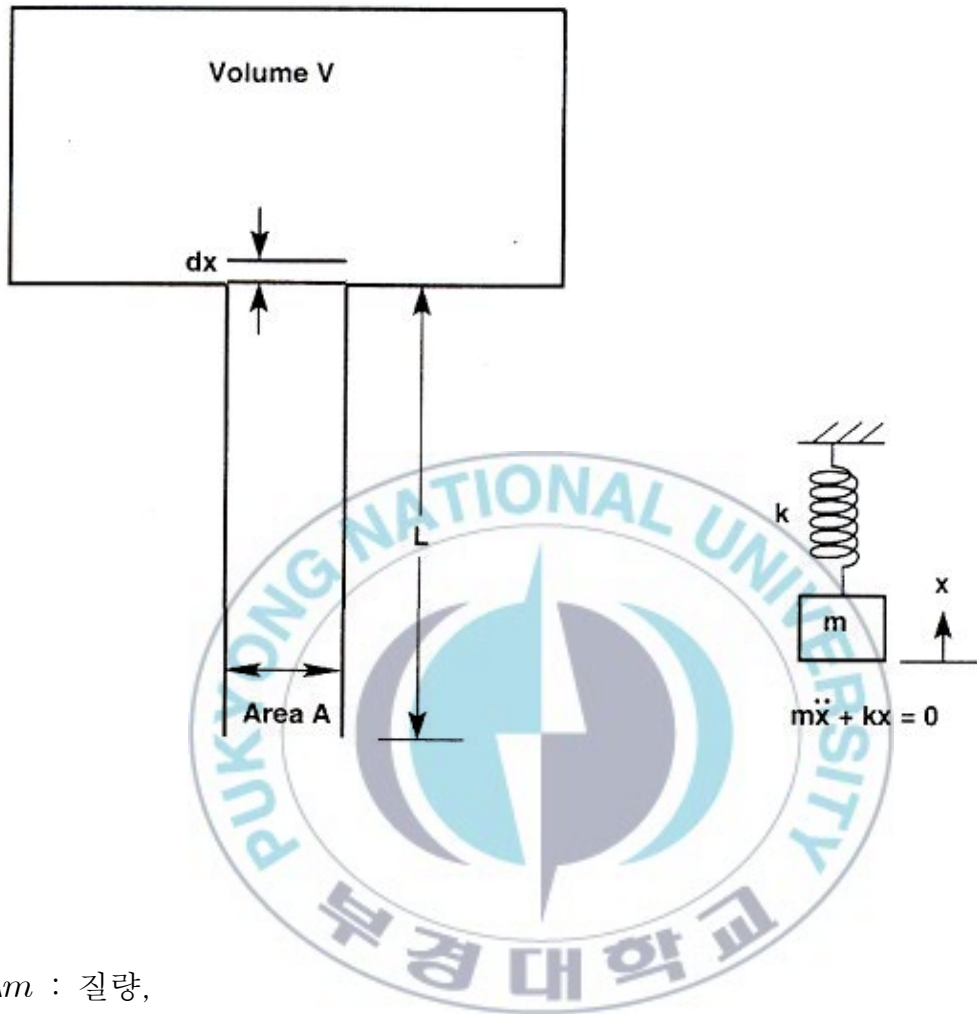
$$m\Delta\ddot{x} + k\Delta x = 0 \quad (2.9)$$

여기에서 $\Delta\ddot{x}$ 는 시간에 대한 Δx 의 2차 도함수이다. 다른 어떤 힘도 계에 가해지지 않는다면, 이 방정식은 스프링-질량계 방정식임을 알 수 있다. 이때 이것은 Δx 가 비감쇠, 선형이면서 진동하는 1자유도 운동이다. 이것의 해는 초기 위상에 따라서 위상을 갖는 $\Delta x \propto \cos wt$ 형태의 해를 갖는다. 따라서 진동수(각속도)는 아래와 같이 주어진다¹⁴⁾.

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{a^2 A}{VL}} = a \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (2.10)$$

$$f = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (2.11)$$





Δm : 질량,

\ddot{x} : 가속도

k : 스프링 상수

x : 변위

Fig. 1 Schematic of simple Helmholtz resonator

제 3장 유사흡기시스템의 비정상 유동특성

3.1 실험 장치

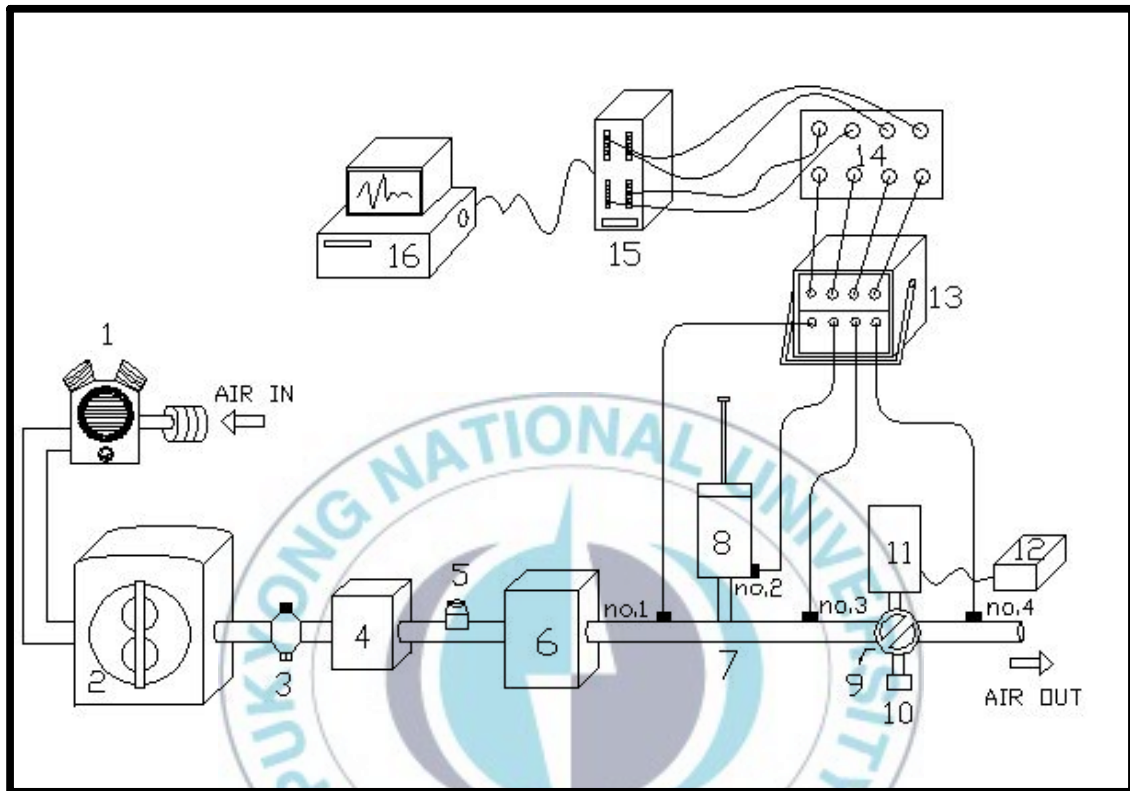
Fig.2에서는 실험에 사용되는 장치의 개략도를 그려 설명하였고, Photo 1과 Photo 2는 실험장치와 데이터 획득 장치의 사진이다. 압축 공기는 스크류 펌프로부터 생산되어 저장조에 저장된다. 압축 공기는 감압 밸브를 거치면서 조절되고 오리피스 유량계와 서지탱크, 유사 흡기관, 공진기 그리고 펄스 발생기(pulse generator)를 차례로 거치고 출구 파이프를 거쳐 대기로 방출된다.

압축기(GA22, screw type, 28.8kW, 3525 rpm)는 공기압축 압력이 8.6 bar이다. 시스템 내부를 흐르는 공기의 압력 맥동을 측정하기 위하여 피에조 저항식 저압 압력변환기(Kistler, 4045A5, Switzerland)와 증폭기(Kistler, 4603)를 사용하였고, 유사 흡기관, Variable Helmholtz Resonator(VHR) 실린더 몸통부분, 펄스발생기 입구측과 출구측에 각각 압력 변환기를 설치하여 압력변동을 측정하였다. 기압은 1009 hPa이다.

유사 흡기관의 형상은 내경 40 mm이며 전체 길이는 2830 mm인 직관 구조를 갖고 있다. 감압밸브를 거친 후 압축 공기의 불규칙성을 제어하고자 서지탱크(70 l)를 제작하였고, VHR은 공진기 실린더 부분에 피스톤을 넣어 수동으로 공진기 체적을 변화시킬 수 있게 제작하였다. 그리고 펄스 발생기(pulse generator)를 회전 시켜주는 전동기는 노이즈 방지를 위해 직류전동기(type: Geelh-500, 0.5 kw, 1980 rpm)를 사용하였고 제어기를 통해 속도를 조절한다. 그리고 rotary encoder(type: E6C2-CWZ3E)를 설치하여 펄스 발생기(pulse generator) 회전체의 0.5° 마다 데이터를 수집하도록 제작하였다.

데이터 획득장치는 National Instrument사의 PXI(Peripheral Component Interconnect Extensions for Instrumentation, U.S.A)를 사용하였으며 PXI 샤시(PXI-1000B)에 제어기(NI 8174)와 DAQ 보드(NI 6025E) 그

리고 I/O 연결단자를 연결하여 시스템을 구성하였다. 이 데이터 값은 Origin을 통해 수치를 시각화 하였다.



- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. Air compressor | 2. Air reservoir |
| 3. Regulating valve | 4. Air surge Tank |
| 5. Flow Meter | 6. Air surge Tank |
| 7. Semi-induction pipe | 8. Resonator |
| 9. Pulse generator | 10. Rotary encoder |
| 11. D.C motor | 12. Motor controller |
| 13. Amplifier | 14. Terminal block |
| 15. DAQ(PXI) board | 16. Computer |
- : Pressure transducer(no.1~no.4)

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus



Photo 1 Photograph of experimental apparatus



Photo 2 Photograph of data acquisition apparatus

Table 1 에서는 흡기 시스템의 구성을 나타내었다. Semi-induction pipe 와 출구 파이프는 40 mm로 동일하게 제작하였고, 서지탱크(소형)를 유량계 앞쪽에 달아 감압변의 유량 변화를 제어하였고, 펄스 발생기로부터 발생하는 맥동을 제어하기 위해 서지탱크(대형)를 설치하여 맥동을 상쇄하였다. Variable Helmholtz Resonator의 실린더 하단에 압력 센서를 달고 피스톤을 움직여 체적변화에 의한 파의 변화를 측정하였다. CR(Close Resonator)은 공진기 체적이 0 인 상태를 말하고, SR(Small Resonator)은 공진기 체적이 half(1177 cc)인 상태, LR(Large Resonator)은 full 열린상태(2355 cc)를 말하며, 이 실험에서는 공진기 개폐조건을 3가지로 하여 실험을 하였다.

Fig. 3은 VHR(Variable Helmholtz Resonator)의 개략도를 그렸고, Photo 3 은 VHR의 사진이다. VHR은 내경 100 mm, 길이 347 mm의 실린더에 두께 47 mm 피스톤을 가공하였고, 실린더와 피스톤이 완전히 밀폐되도록 하기 위해 피스톤에 두개의 O-Ring을 넣었으며, 피스톤에 대한 공기의 누설은 없다. 수동으로 피스톤을 움직여 체적을 변화시킬 수 있도록 제작되었고, 공진기 하단에 센서(no.2)를 달아 압력을 측정하였다.

Table 1 Dimension of intake system

| Item | Diameter (mm) | Length & Volume |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| Surge tank (small) | 350 × 400 × 500 | 70 l |
| Surge tank (large) | 600 × 700 × 500 | 210 l |
| Semi-induction pipe | 40 | 850 mm |
| Pulse generator | 40 | 300 mm |
| Outlet pipe | 40 | 780 mm |
| CR (Close Resonator) | – | 0 |
| SR (Small Resonator) | 100 | 1177 cc |
| LR (Large Resonator) | 100 | 2355 cc |

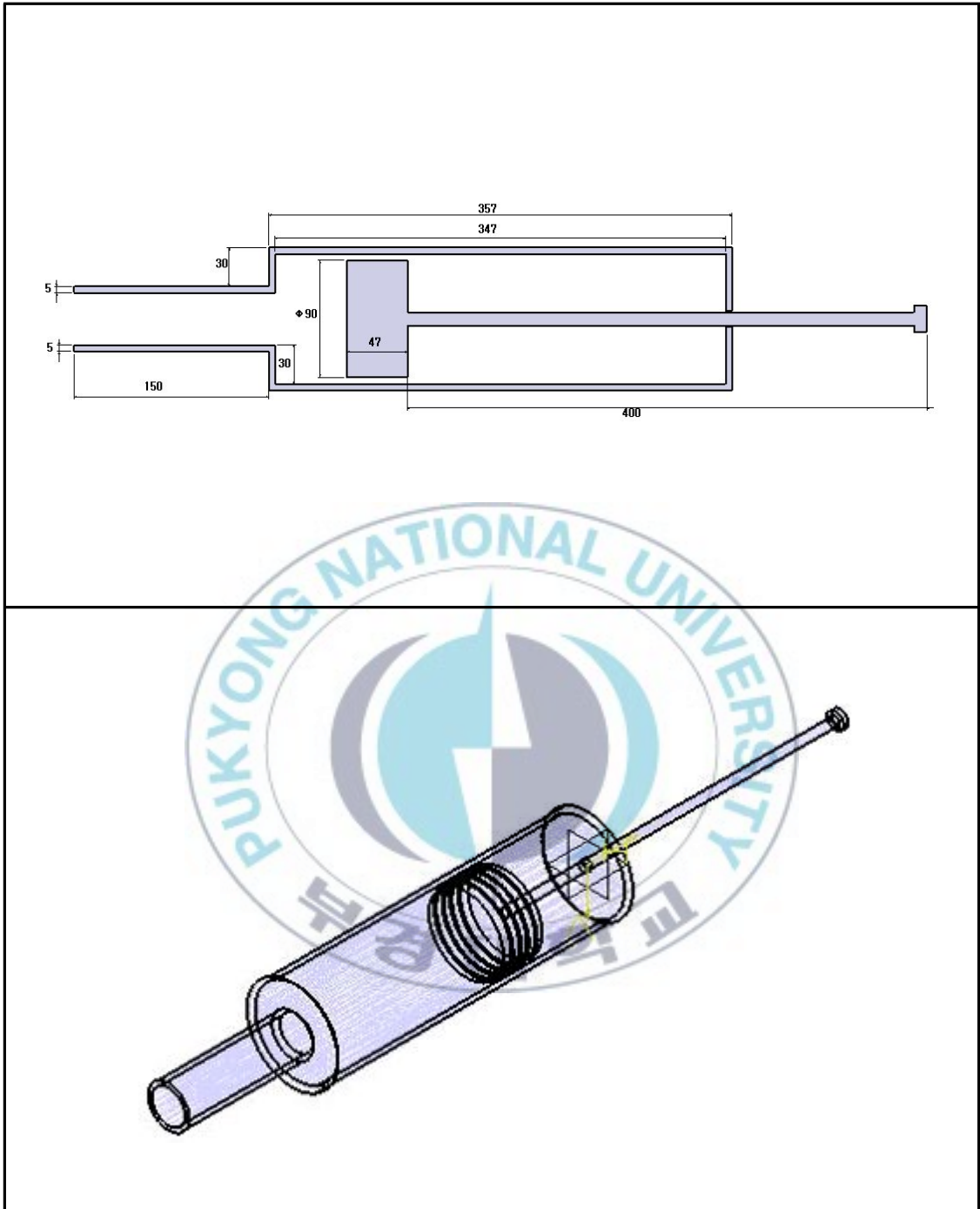


Fig. 3 Schematic view of variable Helmholtz resonator



Photo 3 Photograph of variable Helmholtz Resonator

실제의 유동조건과 비슷하게 하기 위하여 엔진과 피스톤 밸브에 의해서 발생하는 맥동을 펄스 발생기를 장착하여 정현파를 발생시킨다. Fig. 4은 펄스 발생기(pulse generator)의 개략도이고, Photo 4는 사진이다. 펄스 발생기의 회전체는 직경 70 mm의 강제봉에 구경 40 mm의 구멍을 밀링 머신으로 가공하였다. 이 회전체는 전자파와 노이즈가 로터리 엔코더(rotary encoder)의 신호를 방해하는 것을 막기 위해 직류모터와 타이밍 벨트(timing belt)를 사용하여 회전시켰으며, 속도 조절은 사진의 제어기(controller)로 작동된다. 회전체의 열림 각도는 69° 이며 1회전에 2회 열리게 된다.



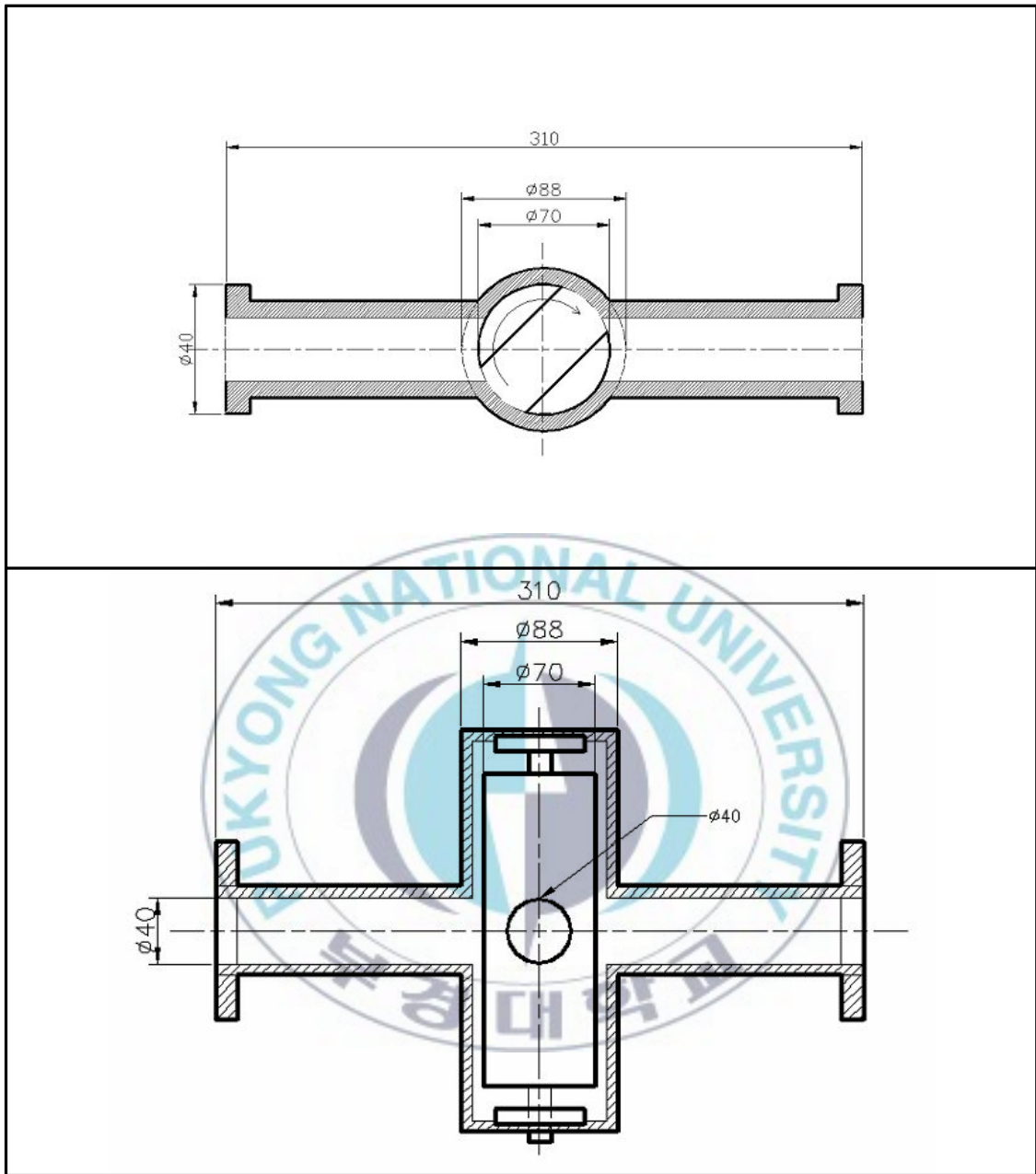


Fig. 4 Schematic view of pulse generator



Photo 4 Photograph of pulse generator

3.2 실험 방법

유량 측정은 오리피스 유량계를 흡기관에 직렬로 삽입하여 그 평균을 기록하였다. 또한 유량의 조절은 감압밸브를 사용하여 수행하였고, 실제 엔진에서 발생하는 정현파 형태의 압력파를 재현하기 위하여 펄스 발생기(pulse generator)를 회전시킨다. 펄스 발생기의 회전속도는 128, 356, 600 rpm까지 3단계로 나누어 실시하였다. 실험 조건은 유량, 펄스 발생기의 rpm, VHR의 체적변화에 대하여 시간과 각도에 의한 압력파의 모양을 계측하여 비교한다. 펄스 발생기의 회전체가 열리는 시점을 로터리 엔코더(rotary encoder)를 통하여 '0' 으로 셋팅(setting)하고 전·후 압력파의 모양이 조건에 따라 어떻게 달라지는지 계측하여 회전체의 열림 각도에서 파의 모양을 통해 실제 엔진과 접합할 수 있는 기초적인 데이터 획득을 할 수 있도록 한다.

Table 2 requirement of experiment

| Item | Method of experiment |
|------------------|---------------------------------------|
| Flow | 30, 60, 90 Nm ³ /h |
| Pulse generator | 128, 356, 600 rpm |
| Resonator volume | CR (0 cc), SR (1177 cc), LR (2355 cc) |
| Encoder | 0.5 deg/pulse |

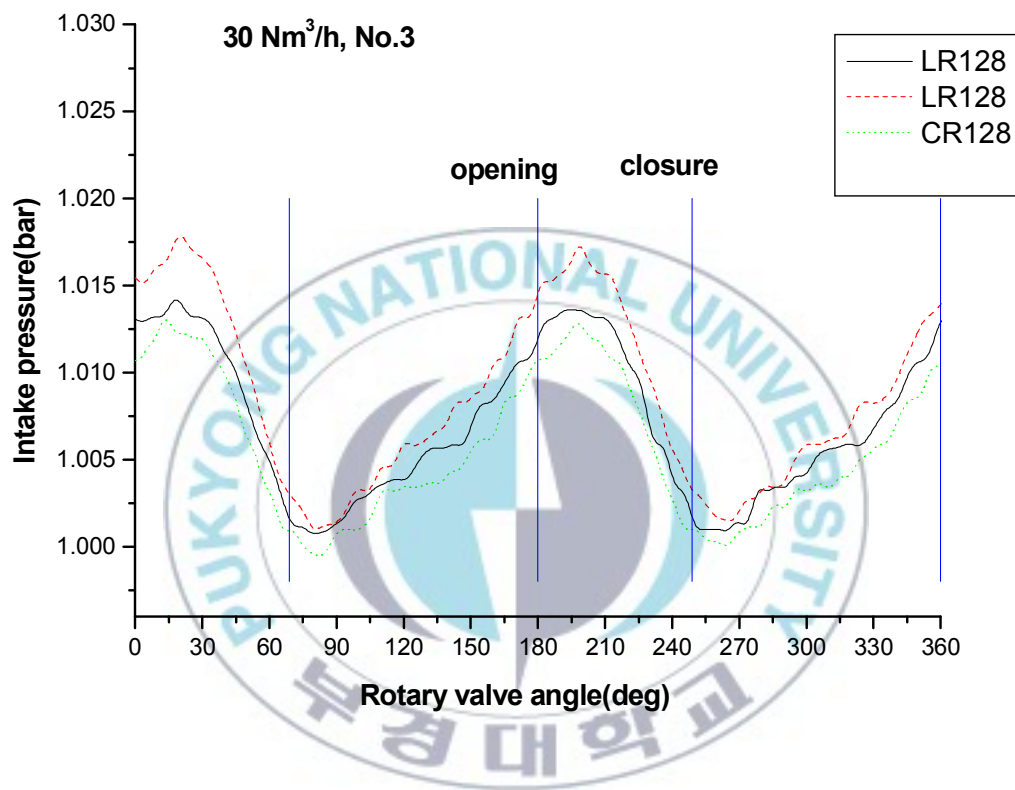
3.3 실험 결과 및 고찰

3.3.1 유량변화에 따른 유동특성

실제 엔진에서 흡·배기 시스템의 설계가 체적효율에 영향을 미치고 체적효율의 향상은 기관성능과 환경 오염물질 배출에 직접적인 영향을 준다.

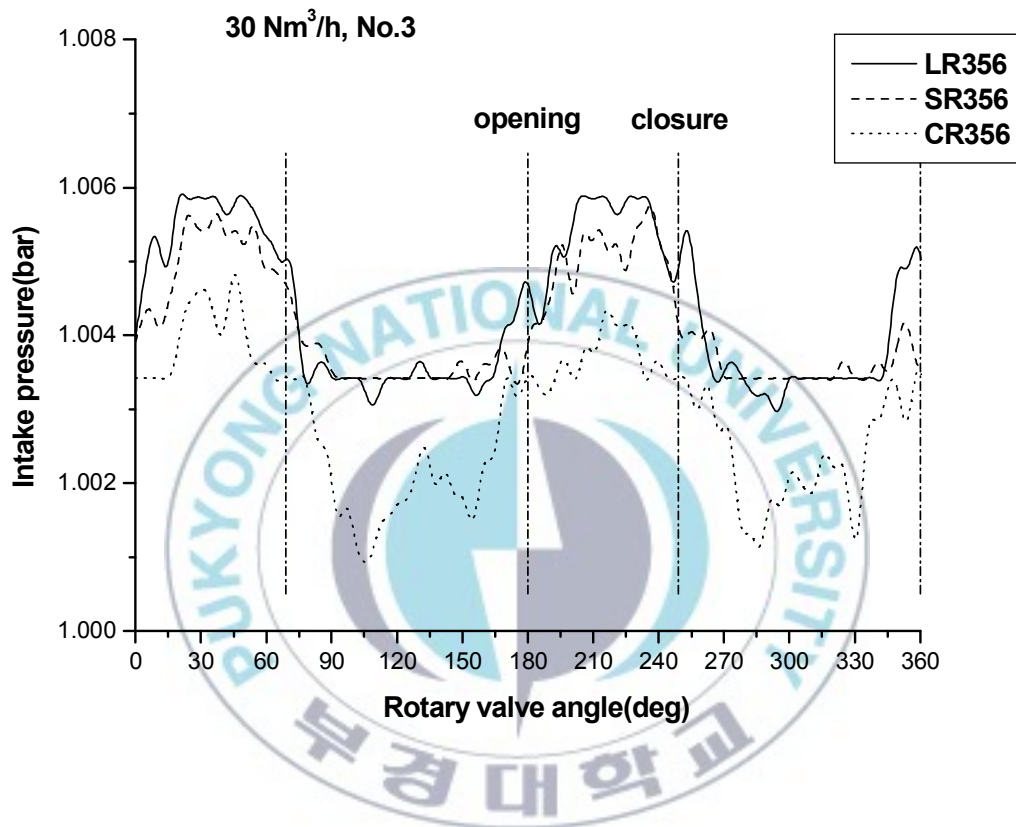
흡기관 안에서는 피스톤의 운동과 밸브의 개폐에 의하여 파가 생성, 소멸되며 이러한 파의 상호작용을 통하여 파동이 발생한다. 이러한 파동은 공기 유동율에 영향을 주어 엔진의 체적효율에 중대한 영향을 미치게 되는데, 흡기밸브가 열렸을 때 어떠한 파의 모양이 도달하는지가 저속구간에서 체적효율의 변화를 주게 된다.

Fig. 5와 6은 각 펄스 발생기의 회전속도 128 rpm, 356 rpm에서의 유동특성이 양호한 경우의 유량 30 Nm³/h일 때의 공진기의 출구에서 흡기압력 변화를 나타내고 있다. LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR은 각각 공진의 체적비가 2 : 1 : 0 을 의미한다. 유량이 작아 맥동은 작지만 피크의 위상은 밸브의 열림 기간 동안에 오고 있다. 따라서 급기는 안정적이고, Fig. 5인 경우는 SR에서 압력이 가장 높았으나 Fig. 6에서는 LR에서 피크압력이 가장 높음을 알 수 있다. 실제 엔진에서와 같이 유사 흡기 시스템에서도 회전속도 (rpm)와 공진기의 개폐에 의한 영향을 받고 있음을 알 수 있다.



- LR(2355CC), SR(1177CC), CR(Close Resonator)

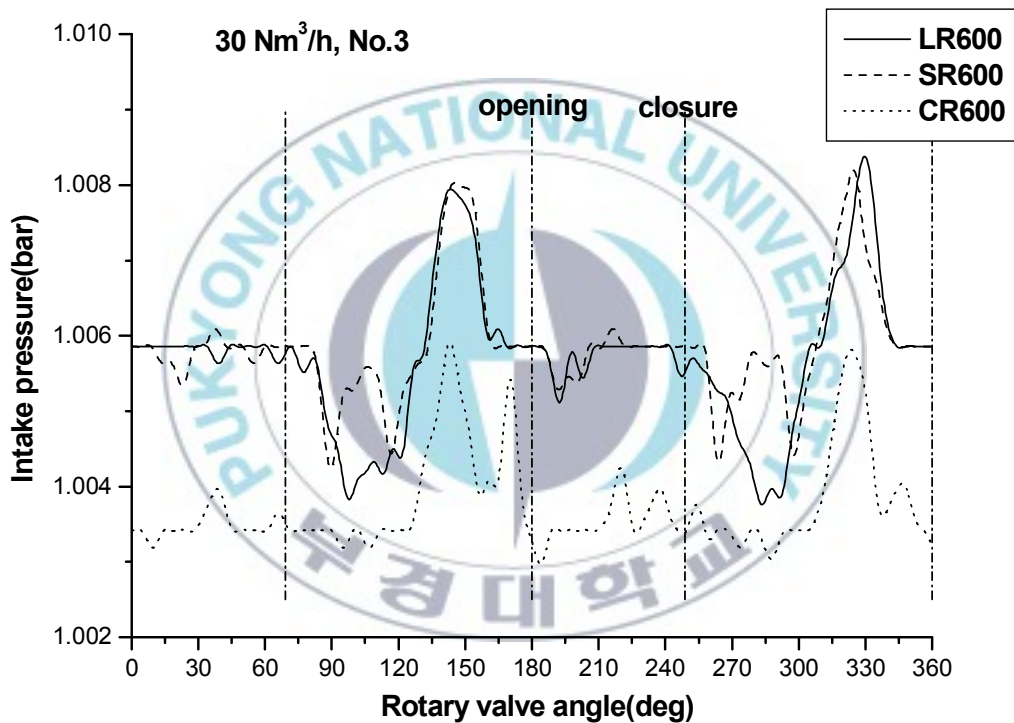
Fig. 5 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm³/h–128 rpm



- LR(2355CC), SR(1177CC), CR(Close Resonator)

Fig. 6 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm³/h–356 rpm

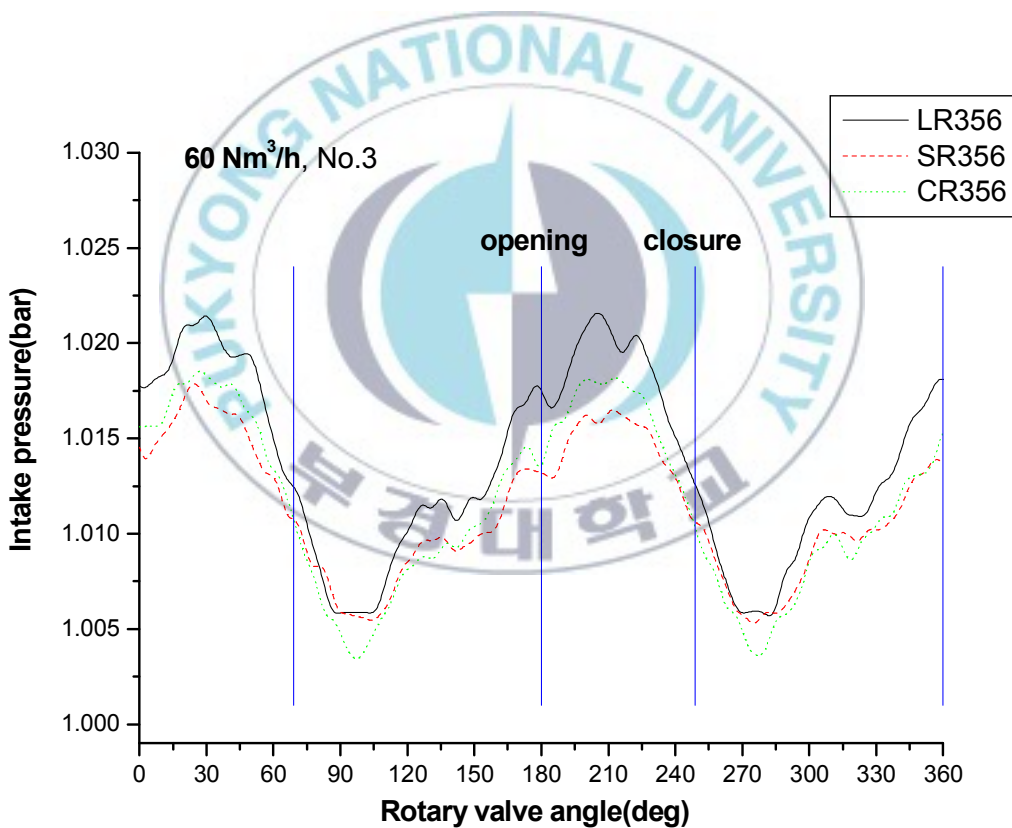
Fig. 7은 유량 30 Nm³/h, 펄스발생기의 회전속도가 600 rpm인 경우를 나타낸다. 로터리 밸브의 회전속도가 빨라지면서 파동의 수가 약 2배 정도 많아진 것을 볼 수 있다. 밸브가 열려있는 기간 동안 빈압이 오고 있어 급기는 나쁘고, LR과 SR에서의 압력변화는 거의 동일함을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 5, 6, 7에서 알 수 있듯이 공진기가 열리지 않은 상태(CR)에서 급기 압력이 가장 낮았다. 이는 저속구간에서 공진기의 개폐가 체적효율 향상에 효율적으로 영향을 줄 수 있을 것이다.



- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

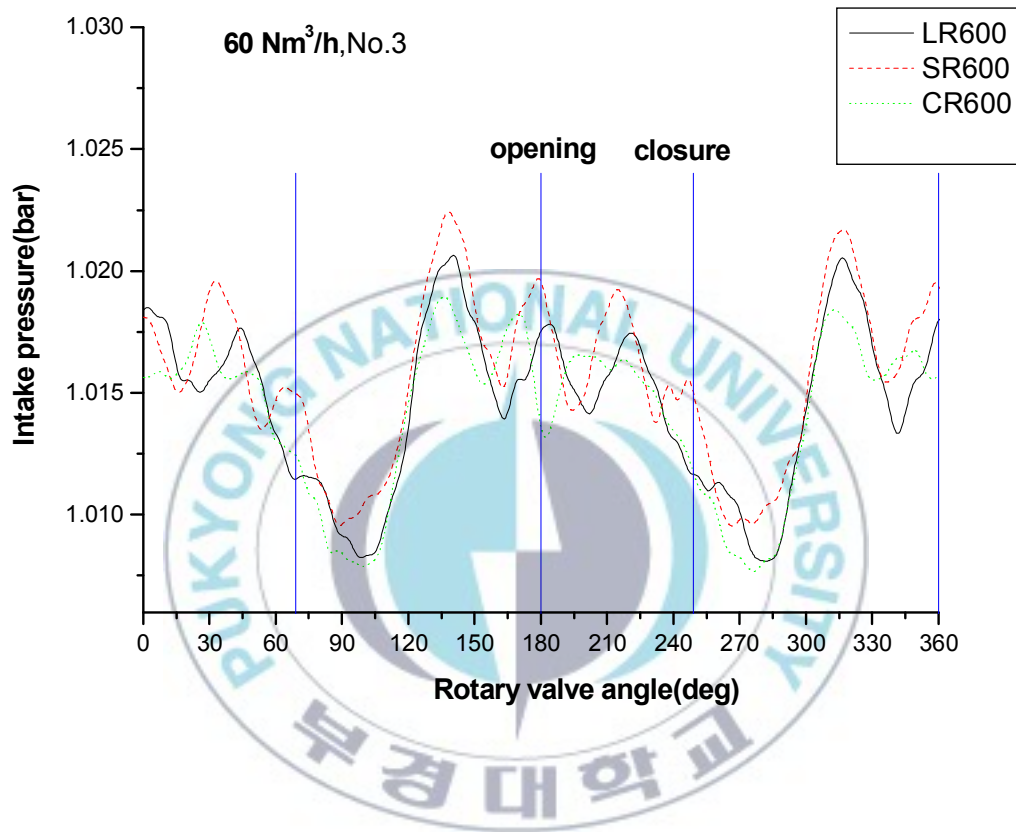
Fig. 7 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm³/h-600 rpm

Fig. 8, 9는 유량 60 Nm³/h일때 펄스발생기의 회전속도가 356 rpm과 600 rpm으로 변화된 상태를 보여준다. Fig. 8은 밸브가 열려있을 때 피크의 위상이 오면서 안정적인 급기를 보이거나 Fig. 9에서 보듯이 위상의 피크가 낮아지고, 위상이 변함을 알 수 있다. 펄스 발생기의 회전속도가 증가하면서 파형이 크게 세 개로 나뉘짐을 볼 수 있는데, 마찬가지로 밸브가 열려있는 기간 동안 빈압이 오고 있어 급기가 흔들리고 나빠짐을 알 수 있다. 하지만 Fig. 6,7과 비교했을 때 같은 RPM 이지만 유량이 많이 들어오면서 파형의 변화는 커졌다. 이는 유량이 많아져 빈압이 적게 들어오기 때문이다.



- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

Fig. 8 Variation of measured intake pressure with various condition at 60 Nm³/h-356 rpm



- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

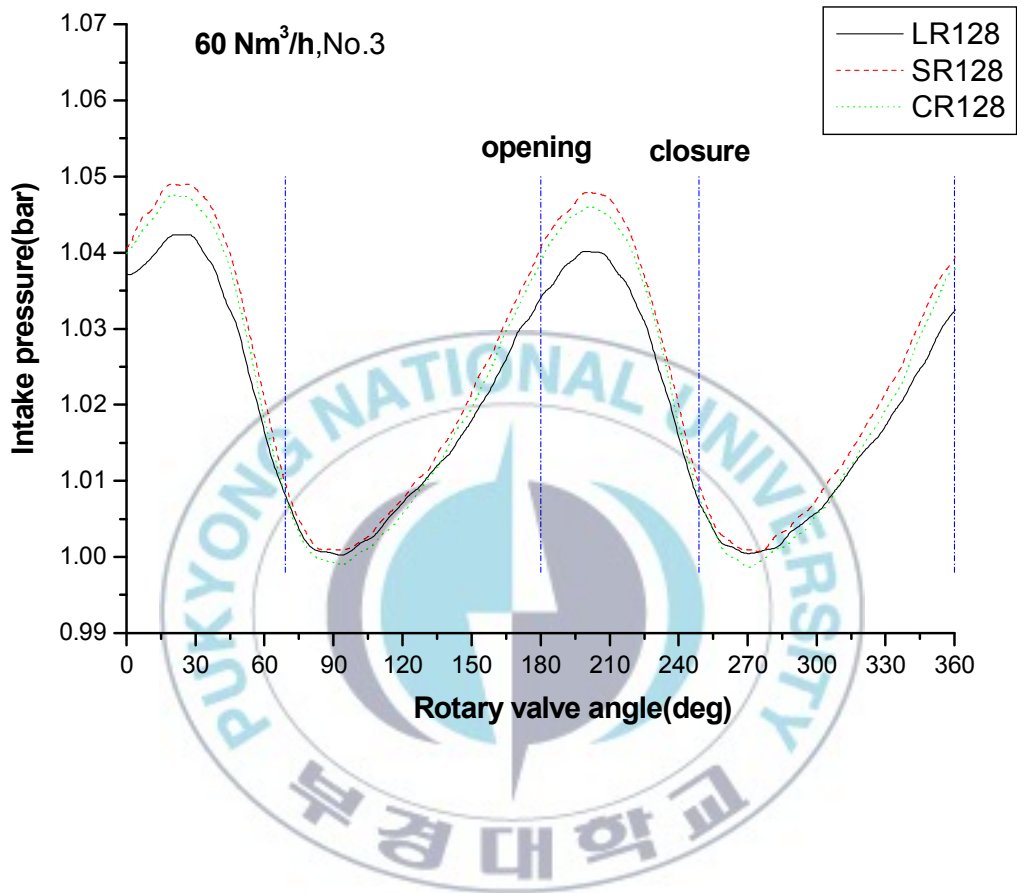
Fig. 9 Variation of measured intake pressure with various condition at 60 Nm³/h-600 rpm

3.3.2 로터리 밸브 회전수 변화에 따른 유동특성

엔진의 흡기계통에서 피스톤운동에 의한 파의 생성과 그에 따른 파동의 결과로 매니폴드안의 유체의 압력, 밀도, 그리고 온도가 변하는 경우 음속이 변하게 되고 이에 따른 파의 전파속도가 변하고 파 간섭등으로 파형 왜곡이 심할 경우 이때의 파는 비선형파로 분류되며 이 파 현상은 흡기현상, 오염물 방출을 좌우하는 중요한 요소이다⁴⁾.

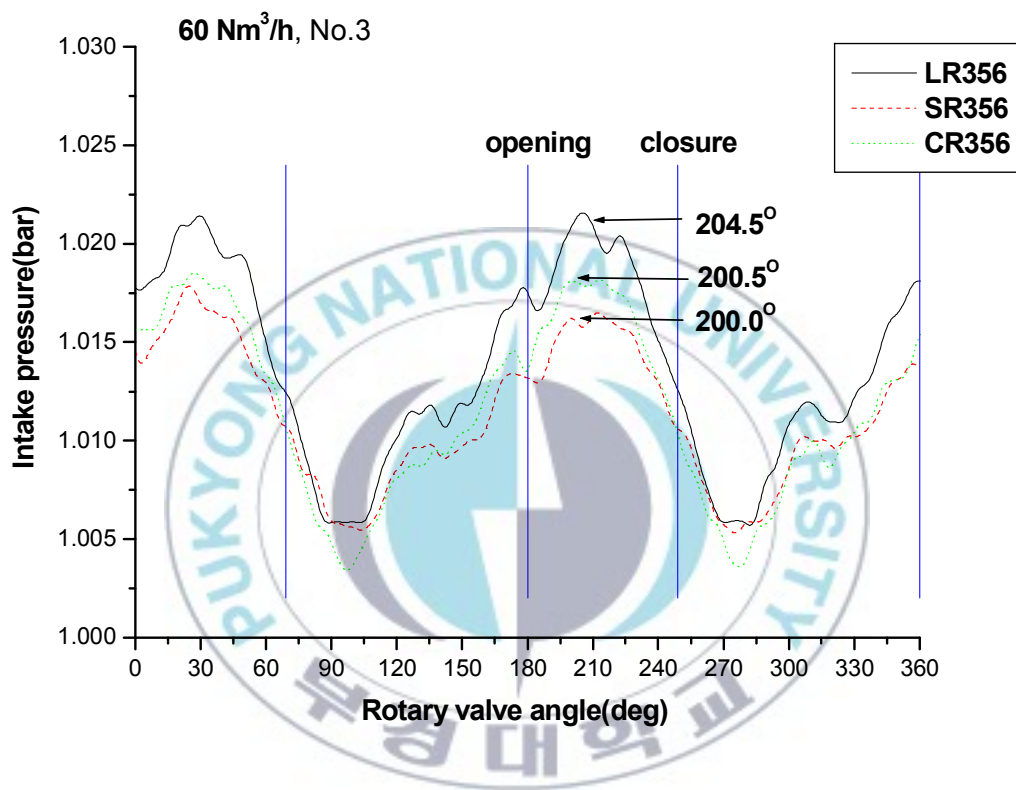
엔진의 흡기 행정후반에는 피스톤의 가속도 감소로 흡입되던 공기가 실린더에 압축되기 시작하는데, 행정후반부 BDC와 ABDC 10도 사이에 관성 램 피크 (inertia ram peak)를 얻게 되어 체적효율이 상승하게 되는데 rpm이 높을 수록 관성효과는 커진다.

Fig. 10, 11, 12는 유량 $60 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 일 때, 128, 356, 600rpm 의 압력과 위상의 변화를 통한 급기의 형태를 비교한 그림이다. 128rpm에서는 안정적인 급기가 들어오나 유량이 올라가면서 공진기체적 LR인 경우 가장 압력이 낮았다. 356rpm일 경우는 밸브가 열리고 나서 $200\sim 204.5^\circ$ 사이에 피크가 오고 있고, LR인 경우 가장 압력이 높아짐을 보여준다. 공진기의 체적이 이상 변화에 관여함을 알 수 있으며 각 rpm 별로 흡기밸브가 닫히는 순간에 최대 진폭이 오도록 공진기의 개폐를 통하여 정밀제어를 한다면 체적효율 향상에 많은 영향을 미칠 것이다.



- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

Fig. 10 Variation of measured intake pressure with various condition at 30 Nm³/h–600 rpm



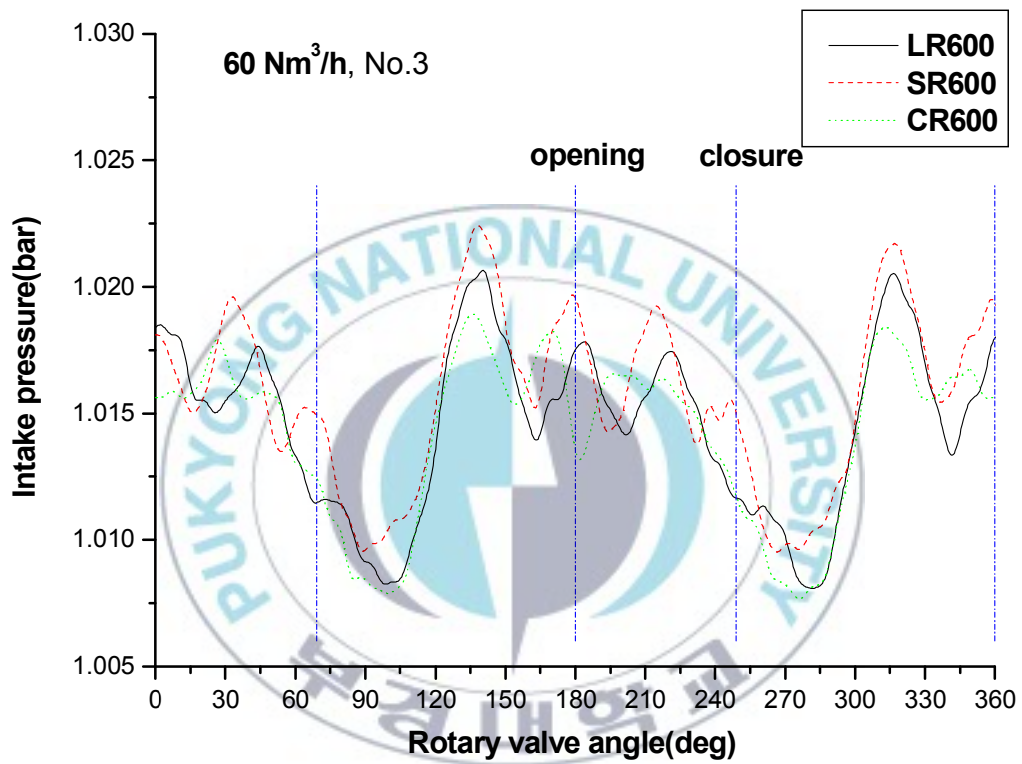
- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

Fig. 11 Comparison of intake pressure by 356 rpm variance at 60 Nm³/h

파의 생성과 전파 과정에서 피스톤의 하강으로 인해 부압파가 형성되며 이 압력파가 주기적으로 반사되어 흡기관 끝단에서 되돌아오고 돌아올 때는 정압파로 위상이 뒤바뀌어 다시 나오는 파와 만나는데 두 파가 만나게 되어 중첩을 이룬다. 이 파는 사인곡선의 압력파를 형성하게 되는데 시간에 따라 감쇠 또는 소멸의 과정을 겪는다.

Fig. 12의 600 rpm의 경우에는 밸브가 닫혀있는 동안에 피크 압력이 온다. 밸브가 닫히는 순간에 흡기관 안에 형성되는 잔류파는 정상파라고도 불리는데 600 rpm에서는 이러한 잔류파(정상파)의 진폭이 더욱 크고 오히려 밸브가 열려있는 동안에는 압력이 낮음을 알 수 있다. 동일 유량 조건에서 회전수가 356 rpm에서 600 rpm으로 증가하면서 공진기 체적의 크기와 개폐 조건에 따라 파의 위상과 진폭의 우열이 뒤바뀔을 보여준다. 이는 파 사이의 상호 작용이 빈번해지면서 생긴 결과임을 알 수 있는데, 이 속도 구간은 위상 제어가 필요함을 알 수 있다.



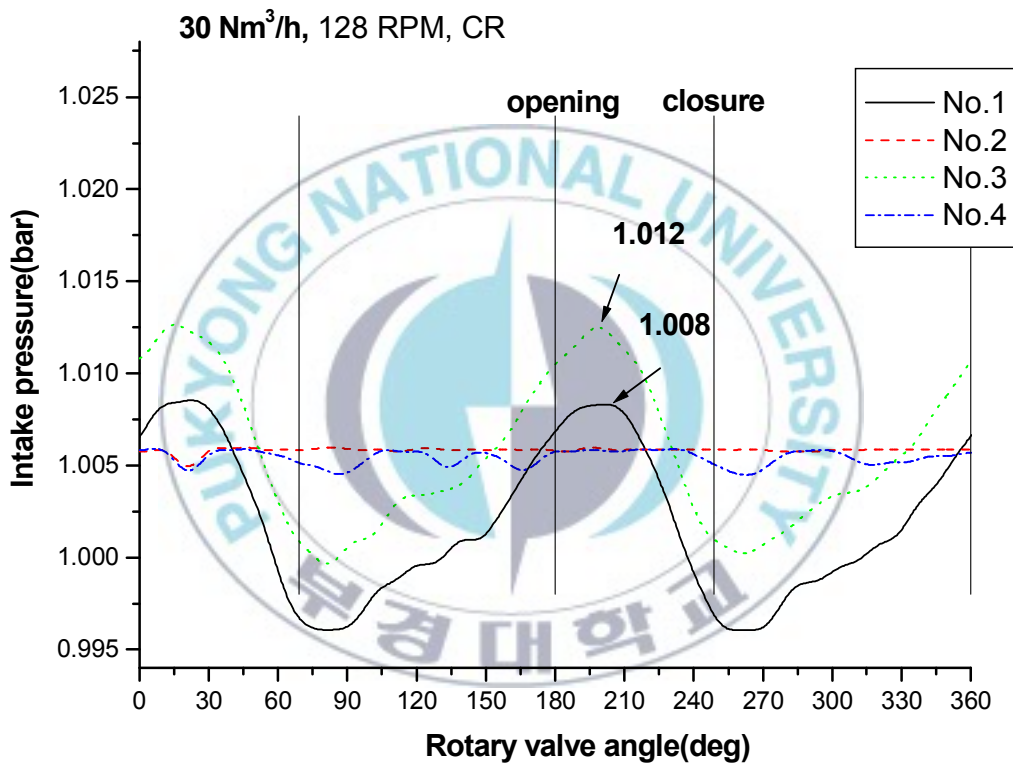


- LR(2355 cc), SR(1177 cc), CR(Close Resonator)

Fig. 12 Comparison of intake pressure by 600 rpm variance at 60 Nm³/h

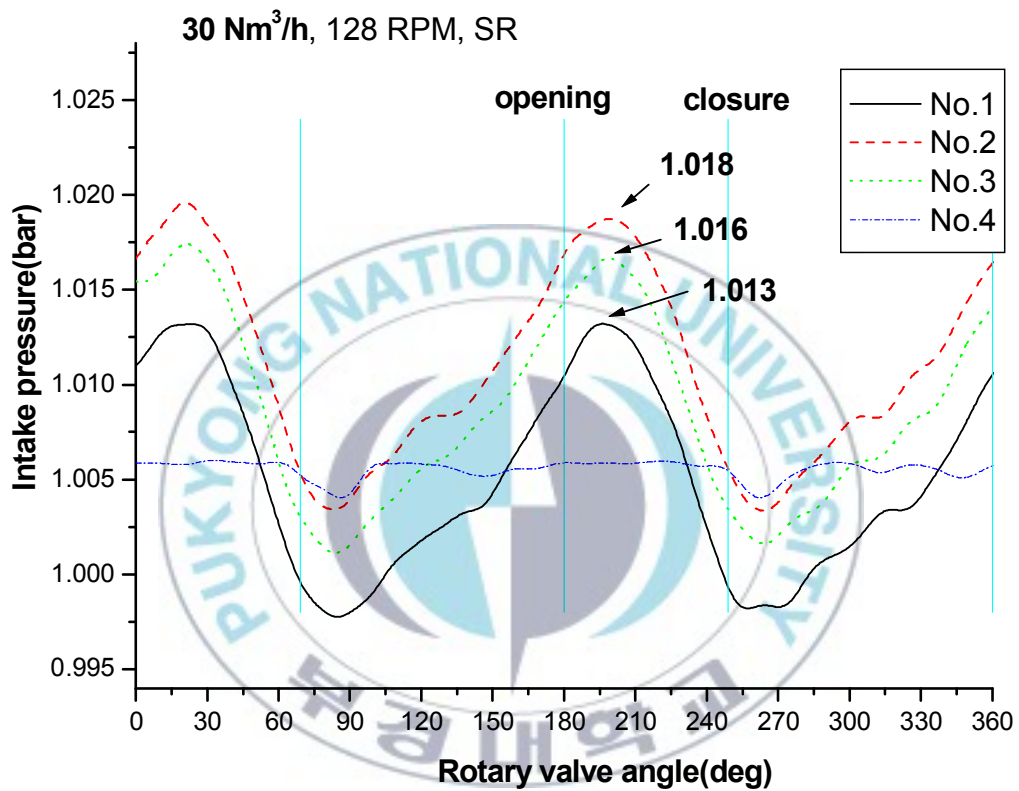
3.3.3 공진기 개폐에 따른 흡기압력의 변화

Fig. 13와 14은 유량 30 Nm³/h 일 때, 공진기 개폐에 따른 급기 압력을 비교한 것이다. 공진기를 열었을 때(1.016 bar)가 닫았을 때(1.012 bar)의 흡기압력 보다 높다. 또한 피크의 위상이 앞서 있음을 알 수 있다. 이는 공진기가 열리면서 파의 공진현상이 진폭의 성장에 기여했음을 보여준다.



- CR (Close Resonator)
- No.1 (Inlet resonator)
- No.2 (Inside resonator)
- No.3 (Outlet resonator)
- No.4 (Outlet pulse generator)

Fig. 13 Variation of intake pressure with resonator close opening condition



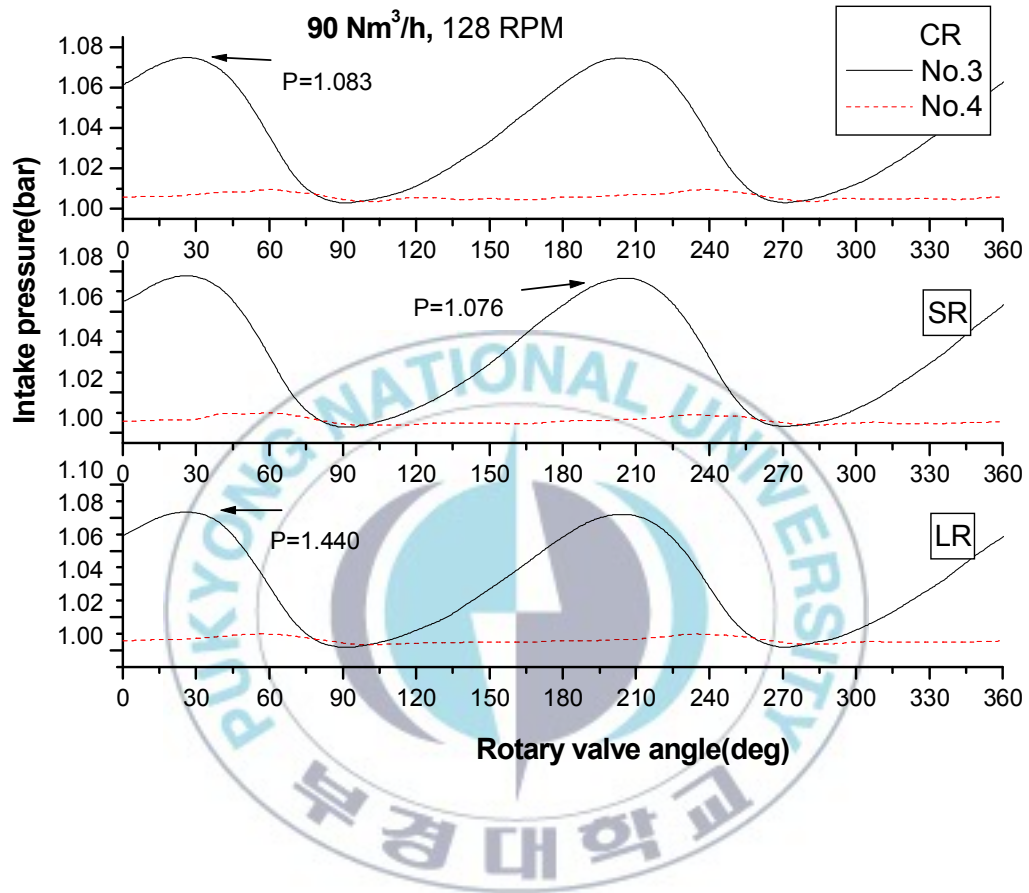
- SR (Small Resonator)
- No.1 (Inlet resonator)
- No.2 (Inside resonator)
- No.3 (Outlet resonator)
- No.4 (Outlet pulse generator)

Fig. 14 Variation of intake pressure with resonator half opening condition

이처럼 Fig. 13과 Fig. 14에서 보여주는 현상은 공진기를 닫아주는 개폐 조작에 의하여 급기 효율이 개선 될 수 있음을 알 수 있다. .

Fig.15는 유량이 $90 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 로 일정할 때 128 rpm인 상황에서의 공진기 개폐에 의한 상황을 나타내며 전체적으로 안정적인 급기를 보여준다. LR인 경우에 1.440 bar로 CR(1.083 bar), SR(1.076 bar)보다 압력이 가장 높았고, $\text{LR} > \text{CR} > \text{SR}$ 순서로 압력이 형성됨을 알 수 있다. 공진기를 많이 열었을 때 압력이 높아 이는 체적효율이 높아짐을 알 수 있다.

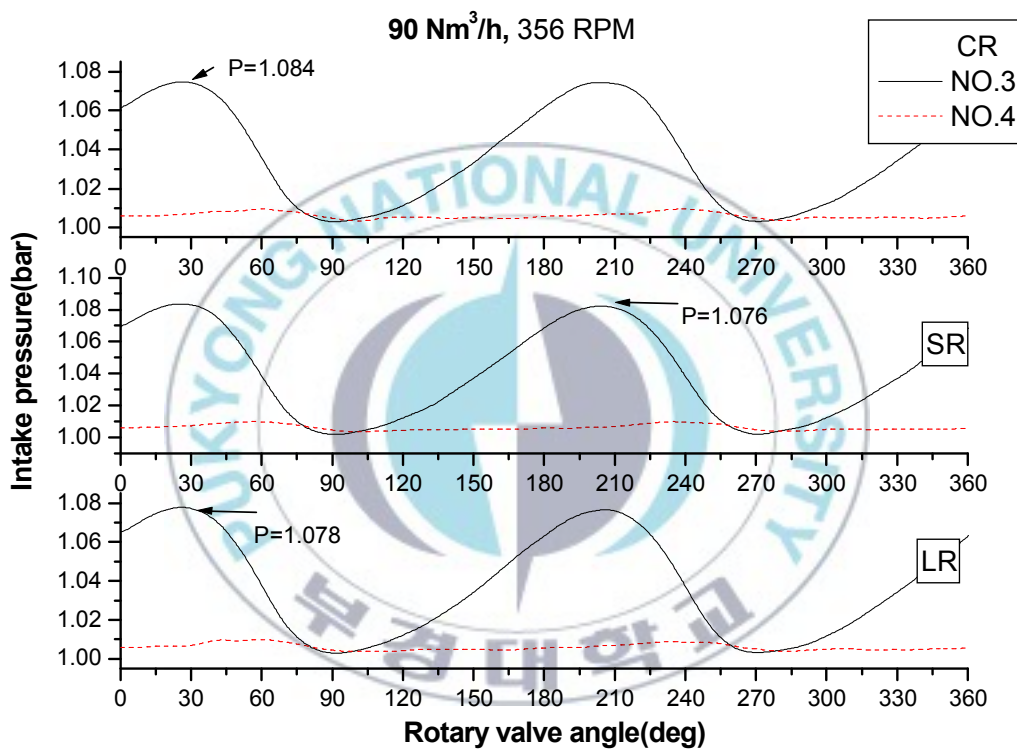




- CR (Close Resonator)
- SR (Small Resonator)
- LR (Large Resonator)
- No.3 (Outlet resonator)
- No.4 (Outlet pulse generator)

Fig. 15 Variation of measured intake pressure with various condition at 90 Nm³/h–128 rpm

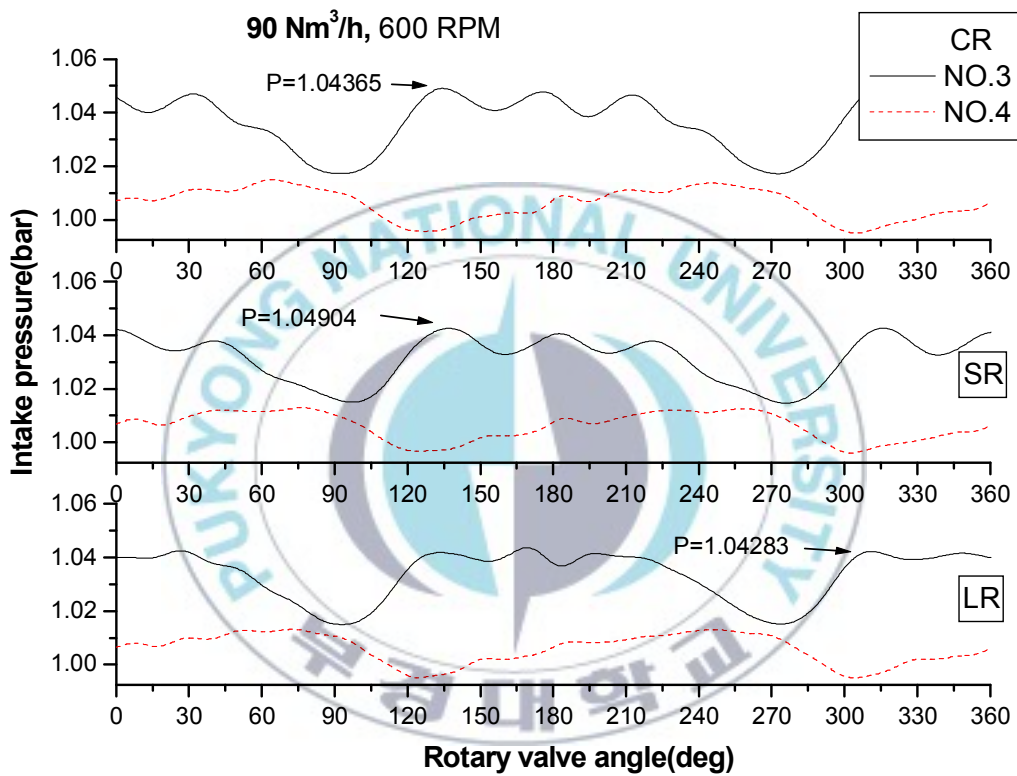
Fig.16은 유량이 90 Nm³/h로 일정할 때 356 rpm인 상황에서의 공진기 개폐에 의한 상황을 나타내며 마찬가지로 안정적인 급기를 보여준다. 하지만 Fig. 15의 경우와는 달리 CR인 경우에 1.084 bar로 압력이 가장 높음을 알 수 있다. 하지만 SR보다는 LR이 압력이 더 높다. CR>LR>SR 순서로 압력이 형성됨이 보여진다.



- CR (Close Resonator)
- SR (Small Resonator)
- LR (Large Resonator)
- No.3 (Outlet resonator)
- No.4 (Outlet pulse generator)

Fig. 16 Variation of measured intake pressure with various condition at 90 Nm³/h-356 rpm

Fig. 15, 16과는 달리 Fig. 17에서는 SR인 경우에 압력이 가장 높아짐을 알 수 있다. RPM 600에서는 약간의 빈압이 들어오면서 급기가 조금 불량해짐이 보여지고 SR>CR>LR 순으로 압력이 형성되어진다.



- CR (Close Resonator)
- SR (Small Resonator)
- LR (Large Resonator)
- No.3 (Outlet resonator)
- No.4 (Outlet pulse generator)

Fig. 17 Variation of measured intake pressure with various condition at 90 Nm³/h-600 rpm

Fig.15, 16, 17은 공진기 출구지점과 로터리밸브 출구 압력을 유량 90 Nm³/h일 때 각 rpm별로 나타낸 것이다.

128 rpm구간에서는 압력이 LR에서 최대 1.440 bar로 가장 높았으나, 356 rpm에서는 CR인 경우에 압력이 1.084 bar로 가장 높았다. 600 rpm에서는 SR에서 1.049 bar로 가장 높았는데 이는 엔진 흡기관과 유사한 흡기 시스템에서의 실험에서도 공진기의 개폐로 위상이 변한다는 사실을 알 수 있다. 실제 엔진에서 일어나는 rpm과 공진기에 의한 체적효율의 변화를 이러한 간단한 유사흡기시스템을 이용함으로써 과의 변화와 엔진 체적효율에 대하여 좀 더 쉽게 접근할 수 있으며 엔진효율을 높일 수 있는 기본적인 요소들에 대한 이해와 더불어 흡기관내에서 발생하는 흡기 맥동의 기초 자료를 얻을 수 있다고 생각한다.



3.3.4 공진기 체적, P/G 회전속도 변화에 따른 유량변화

Table 3 Air flow variation of intake system according to variation of volume of resonator and revolution speed of pulse generator

| FLOW 30 Nm ³ /h | CR(0 cc) | SR(1177 cc) | LR(2355 cc) |
|----------------------------|----------|-------------|-------------|
| RPM 128 | 30 | 26 | 30 |
| RPM 356 | 26 | 27 | 25 |
| RPM 600 | 28 | 28 | 26 |
| FLOW 60 Nm ³ /h | CR(0 cc) | SR(1177 cc) | LR(2355 cc) |
| RPM 128 | 60 | 60 | 52 |
| RPM 356 | 54 | 53 | 54 |
| RPM 600 | 56 | 56 | 56 |
| FLOW 90 Nm ³ /h | CR(0 cc) | SR(1177 cc) | LR(2355 cc) |
| RPM 128 | 90 | 86 | 86 |
| RPM 356 | 85 | 80 | 86 |
| RPM 600 | 86 | 85 | 80 |

Table 3은 흡기 시스템에서의 유량의 변화를 나타낸다. 오리피스 유량계를 흡기관에 직렬로 삽입하여 그 평균을 기록한 결과 펄스 발생기의 회전속도, 공진기의 개폐 영향에 따라 평균 유량의 변화함을 알 수 있다.

유량 측정을 좀 더 정확히 하기 위해 펄스 발생기로 인한 맥동을 상쇄하고 또한 공기탱크로부터 발생할 수 있는 영향을 최소화 하고자 유량계의 전·후로 서지탱크(surge tank)를 설치하여 유량을 측정하였다.

펄스 발생기의 회전속도가 128 rpm, 공진기가 닫힌 상태를 기준으로 하여 128, 356, 600 rpm과 30, 60, 90 Nm³/h의 유량으로 각각 실험을 하였다.

유량이 30 Nm³/h일 경우 펄스 발생기의 회전속도가 128 rpm, 공진기가 완전히 열린 상태에서 가장 높은 유량을 나타내었고, 유량이 60 Nm³/h일 경우 공진기가 절반 열리고, 128 rpm인 상태에서 가장 높은 유량이 나타났다. 유량이 90 Nm³/h일 경우 128 rpm에서, 356 rpm일 경우는 공진기가 완전히 열린 상태, 600 rpm 에서는 공진기가 완전히 닫혔을 때가 가장 높은 유량을 보였다.

또한 유량 30, 90 Nm³/h일 경우는 rpm이 높을수록 공진기 체적이 작아져야 유량이 높았고, 유량 60 Nm³/h일 경우는 공진기가 절반 열린 상태에서 유량이 높음을 알 수 있다.

하지만 실제 그래프에서 압력과 그때의 유량과의 관계가 일치하지 않았는데 그러한 이유는 유사흡기 시스템에서 펄스 발생기를 돌려 실제 엔진과 유사한 파를 발생시키기 위하여 강제적인 송풍구조(과급조건)를 갖춘 결과 1차적으로 감압변에서 강제적 유량조절을 할 수 밖에 없었고, 또한 펄스 발생기에서 약간의 공기의 누설이 발생하였으며 펄스 발생기의 회전으로 발생한 맥동을 서지탱크(surge tank)에서 완전히 상쇄시키지 못한 결과 유량계에도 약간의 영향을 준 것처럼 보인다. 하지만 유량의 변화를 확인할 수 있었으며 이러한 유량의 변화가 분명 체적효율에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

지금까지 복잡한 디젤엔진의 흡기관 구조를 단순화된 실험장치로 모형을 만들어 과급조건하의 가변체적 헬름홀츠 공진기에 의한 흡기관 안의 유동특성이 급기 성능에 미치는 영향을 알아보았다.

결과적으로는 실험한 rpm대가 실제 엔진에서의 저속구간임을 감안하면 엔진에서의 저속운전 시 공진기를 개·폐함으로써 급기 효율이 향상되어질 수 있고 더하여 흡입 공기량에 비례한 연료분사를 정밀하게 제어하면 체적효율 향상을 통한 연료 소비율 개선과 더불어 배기 오염 배출량을 획기적으로 줄일 수 있을 것이라 생각한다.



제 4 장 결 론

과급조건하의 가변체적 헬륨홀츠 공진기의 유동특성을 조사하여 흡기관 안의 유동특성이 과급디젤 엔진 급기성능에 미치는 영향에 관한 연구 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 공진기의 체적변화와 펄스발생기(pulse generator)의 회전속도 변화에 따라 흡기관내 유량의 변화함을 알 수 있었다.
- 2) 과급으로 인한 유량증가로 인하여 압력파의 위상과 진폭의 크기가 상호작용하여 복잡해짐을 알았다.
- 3) 펄스 발생기의 회전속도가 빨라지면서 공진기의 체적 변화가 위상에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.
- 4) 유량이 $90 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 인 경우, 펄스 발생기(pulse generator)의 회전속도 변화에 따라 공진기의 체적제어와 개폐제어를 하면 급기에 유리한 파의 위상과 진폭제어가 가능함을 보여준다.

실제 엔진과 흡사한 유사흡기시스템으로의 실험에서도 실제 엔진처럼 공진기에 의한 위상의 변화가 생김을 알 수 있고, 일반적 엔진과 간접적으로 비교 할 수 있다는 것을 보여준다. 따라서 공진기의 개폐를 효율적으로 정밀제어를 한다면 연료 소비율 감소, 엔진 출력 증대 및 여기에 따르는 오염물 감소에 영향을 줄 것으로 기대된다.

참고 문헌

- (1) Desmond E. Winterbone and Richard J. Pearson, (2000), "Design Techniques for Engine Manifold, Wave Action Methods for IC Engines" Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St. Edmunds, UK, pp.3.
- (2) 공태우, (2003.2), 경상대학교 대학원 정밀기계 공학과 공학석사 학위 논문 "자동차의 소음기 내부 형상에 따른 성능 및 수치 해석에 관한 연구"
- (3) 최석천, (2004. 2), 경상대학교 대학원 공학석사 학위 논문 "Experimental and Computational Analysis of Single Cylinder 4-Stroke Motorcycle engine with a Various Geometry Exhaust Pipe"
- (4) 강희영, (2006.2), 부경대학교 대학원 제어기계 공학과 공학박사 학위 논문 "가변 흡기 시스템에 의한 디젤기관의 체적효율 향상에 관한 연구"
- (5) 강희영, 고대권, 안수길, (2005. 5), 디젤기관의 흡기 맥동류가 체적효율에 미치는 영향", 한국 동력기계 공학회 제9권, 제 2호, pp.19~25.
- (6) 강희영, 고대권, 안수길, (2005. 8), "가변 헬름홀츠 공진기가 대기통 디젤기관의 체적효율에 미치는 영향", 한국 동력기계 공학회, 제9권, 제3호, pp.26~32.
- (7) 강희영, 고대권, 안수길, 장재은, (2006. 5) "가변 흡기시스템이 과급 디젤엔진의 체적효율 향상에 미치는 영향", 한국 동력기계 공학회, 제10권, 제 2호, pp.24~30.
- (8) A. Ohata, Y. Ishida, (1982), "Dynamic Inlet Pressure and Volumetric Efficiency of Four Cycle Four Cylinder Engine," SAE paper 820407.
- (9) Broome, (1969. 6), "Induction Ram, Part one, Wave Action Phenomena and the Design of Ram Intake Systems, " Automobile Engineer, pp.130~131.

- (10) Broome, (1969. 6), "Induction Ram, Part Three, Wave Action Phenomena and the Design of Ram Intake Systems,' Automobile Engineer, pp.262-267.
- (11) B. Jawad, A. Dragoiu, L. Dyar, K. Zellner and C. Riedel, (2003), "Intake Design for Maximum Performance," SAE paper 2003-01-2277.
- (12) I. Matsumoto and A. Ohata, (1986), "Variable Induction System to Improve Volumetric Efficiency at Low and/or Medium Engine Speeds," SAE paper 860100.
- (13) S. M. Hanriot, M. A. Franco de Medeiros and J. R. Sodre, R. M. Valle, (2000), "An Experimental and Numerical Study from Pulsating Flow in Intake Manifold," SAE paper 2000-01-3162.
- (14) John I. Lumley, (1999), "Engines an Introduction", Cambridge University press, Cambridge, UK, pp.66~68.
- (15) M. Endo, J. Iwamoto, (1992) "Computer Simulation of One-Dimensional Pulsating Pipe Flow with Diffuser" SAE paper 921724.
- (16) Michael P. Thompson and Helmuth W. Engelman, 1969, "The two types of resonance in intake tuning" ASME, 69-DGP-11.
- (17) M. Ceccarani, C. Rebottini, (1994), "Optimization of the Charge Efficiency and Relationship with Emission Control for a High Performance Engine," ATA Conference 94A1066.
- (18) H. W. Engelman, (1973), "Design of a Tunes Intake Manifold," Proceedings of the ASME Conference on Diesel and Gas Power, Houston, Texas, ASME paper73-WA/DGP-2.
- (19) 최재성, 전효중 (1997), "내연기관 강의" , 효성 출판사, pp.190~200.

감사의 글

공무원 생활을 시작하면서 부족함을 배우고자 시작했던 대학원이란 생활이 단지 이론적인 배움뿐만 아니라 사회적으로도 저에게 좋은 경험이었던 것 같습니다. 어느덧 시간이 흘러 나에게 정말 특별한 대학원 생활이 되었고 좋은 분들을 만나서 같이 공부하고 실험하면서 이렇게 논문을 쓰고 보니 폐를 끼쳤다고 생각되는 분들이 너무 많습니다.

먼저 기계시스템 및 조선공학과 안수길 교수님과 입학부터 졸업까지 세심한 배려를 아끼지 않으신 고대권 지도 교수님께 특별한 고마움을 전합니다. 안수길 교수님은 내연기관의 기초를 다시금 가르쳐 주셨고, 고대권 교수님은 저의 직장 특성상 잦은 출동으로 수업에 제대로 참석치 못함에도 불구하고, 따로 시간을 내시면서까지 강의를 해주셨고, 논문지도를 해주셨습니다. 그리고 기계시스템 및 조선공학과 문덕홍 교수님과 양주호, 고성위, 김시영, 한규일, 장지성, 김영복 교수님께도 감사드립니다.

강희영 교수님과 김경현 선생님은 실험 제작부터 시작해서 논문 편집까지 전 과정을 같이하였고, 도움을 주셨습니다. 그리고 터보엔진 실험실 동생들 종환, 영준, 동환, 성진, 영주에게도 고마움을 전합니다.

그리고 이제는 떨어져 있지만 학교 다닌다고 특별히 저에게 많이 배려해주신 무궁화32호 식구들 고맙습니다. 또한 부산생활에 많이 도움을 줬던 순홍이에게도 고마움을 전합니다.

직장을 옮기는 바람에 논문을 쓰기가 힘들어 포기하고도 싶었지만 그때마다 용기를 주신 고대권, 강희영 교수님과 김경현 선생님께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 바쁜 와중에도 틈틈이 응원해주신 서귀포해양경찰서 해양오염방제과 김재태과장님을 비롯한 우리 식구들에게도 고마움을 전합니다.

끝으로 부모님을 비롯한 우리 가족들, 특히 귀여운 네명의 조카들과 날 믿고 따라준 사랑스런 아내 경희, 우리 이쁜 건이에게 고마움을 전합니다.