

# 위상동기루프 방식을 이용한 고빈도 진동환기 장치의 설계

영남대학교 의과대학 생의공학교실  
이상학 · 정동교 · 이준하

영남대학교 의과대학 내과학교실  
이관호 · 김영조 · 정재천 · 이현우

영남대학교 의과대학 생리학교실  
이석강

영남대학교 의과대학 해부병리학교실  
이태숙

## 서 론

현재 임상에서 널리 사용되는 기계적인 인공호흡기(conventional mechanical ventilator : CMV)는 사용이 간편하지만, 때로 높은 흉강 내압과 용적으로 인해 폐의 압손상이나 혈 역학적 장애등의 합병증을 일으킬수 있으며 특히 신생아의 호흡질환에는 CMV에 의한 합병증이 심각한 문제로 대두되고 있다.<sup>1,5)</sup>

최근 이러한 합병증을 감소시킬 수 있는 방법으로써의 비교적 낮은 흉강 내압을 유지시키는 고빈도 환기법(high frequency ventilation : HFV)이 연구되고 있다. 고빈도 진동환기법은 고빈도 환기법중의 한가지 방법으로 Lunkenheimer<sup>12)</sup>등이 처음으로 사용하였으며, Wright<sup>9)</sup>, Kolton<sup>10)</sup>, Goldstein,<sup>11)</sup>등에 의해 적절한 환기가 이루어짐을 보고 하고있다. 본 연구에서는 호흡빈도와 양음압의 크기를

조절하기 쉽고 정확하게 인공호흡을 수행할수 있는 고빈도 진동환기 기계(high frequency oscillatory ventilator)를 설계 제작하였기에 그 특성을 소개 하고저 한다.

## 하드웨어 시스템의 설계

### 2-1 High frequency oscillatory ventilator의 구성

High frequency oscillatory ventilator의 구성은 그림 2-1과 같으며, outlet volume은 3cc-5cc이고 회전수(revolution per minute : RPM)은 20-1800의 특성을 가진다. 본 기계의 구성은 그림과 같이 DC모타의 PLL 제어 회로, outlet volume control mechanism 및 low pass filter로 구성되었다.

- 1) 위상동기 루프(phase lock loop) 모타를 정확하게 그리고 안정되게 회전시

주) 본 논문의 연구에 소요된 경비는 1987년도 문교부 연구비에서 지급되었음.

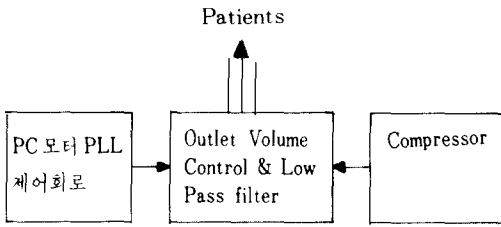


Fig. 2-1 Diagram of high frequency oscillatory ventilator system.

킨다는것을 추구해가면 어느것이냐 그러하듯이 아날로그 제어방식을 디지털제어 방식으로 하기위해 노력하여왔다. 디지털제어방식의 일종인 위상동기루프에 의해 모타를 제어하는 것은 제어의 안정도면에서 그우수성이 입증 되었으므로 본연구에 채택하여 설계하였다.

위상동기루프(phase lock loop : PLL)시스템은 그림 2-2와 같이 phase-detector, 저역통과 filter(low-pass filter), 전압제어발전 (voltage controlled oscillator : VCO) 의 3 소로 구성된 무폐환 시스템(negative feedback system)이다.<sup>6)</sup>

$\theta_i(t)$ 는 입력위상, $\theta_o(t)$ 는 VCO의 출력위상,  $V_c(t)$ 는 phase detector의 출력전압,  $V_d(t)$ 는 VCO의 제어전압,  $F(s)$ 를 loopfilter의 전달함수라고 했을때, phase detector에  $\theta_i(t)$ 을 인

가하면 phase detector에서는  $\theta_i(t)$ 와  $\theta_o(t)$ 의 위상차에 대응하는  $V_c(t)$ 가 발생한다.  $V_c(t)$ 는 부피필타에 의해 고주파성분이 제거되고 저주파성분만이 VCO의 제어전압  $V_d(t)$ 가 된다.  $V_d(t)$ 는  $\theta_i(t)$ 와  $\theta_o(t)$ 의 주파수차이가 작아지도록 VCO를 제어한다. 이때, VCO주파수가  $f_i$ 입력주파수에 근접할 수 있는 범위를 동기범이라고 한다. 동기상태에 있어서 VCO의 주파수를 자주발전주파수로부터 입력신호의 주파수로 이동시키기 위한 오차전압으로서 존재한다.<sup>8)</sup>

그림 2-3과 같이 입력신호  $V_i$ 와 VCO의 출력  $V_o$ 를

$$V_i(t) = A_i \cdot \sin [\omega t + \theta_i(t)]$$

$$V_o(t) = A_o \cdot \cos [\omega t + \theta_o(t)]$$

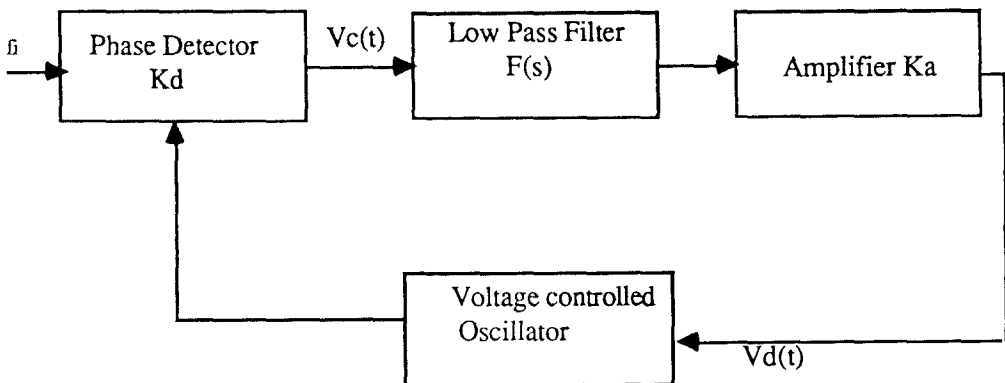
phase detector는 일반적으로 multiplier를 사용하며, 그출력은  $V_i$ 와  $V_o$ 의 곱으로 얻어지므로 그차이를 살펴보면

$$V_o(t) = K_d \cdot V_i \cdot V_o = K_d \cdot \sin [\theta_i(t) - \theta_o(t)]$$

$$= K_d [\theta_i(t) - \theta_o(t)]$$

여기서  $K_d$  : 위상비교기의 변환이득(V/rad)

low pass filter에서는 고주파성분이나 잡음을 제거한 후 위상차 성분만 얻어내므로 filter를 통한후의 오차전압( $V_d$ )는



Ko

Fig. 2-2 Block diagram of the basic phase lock loop.

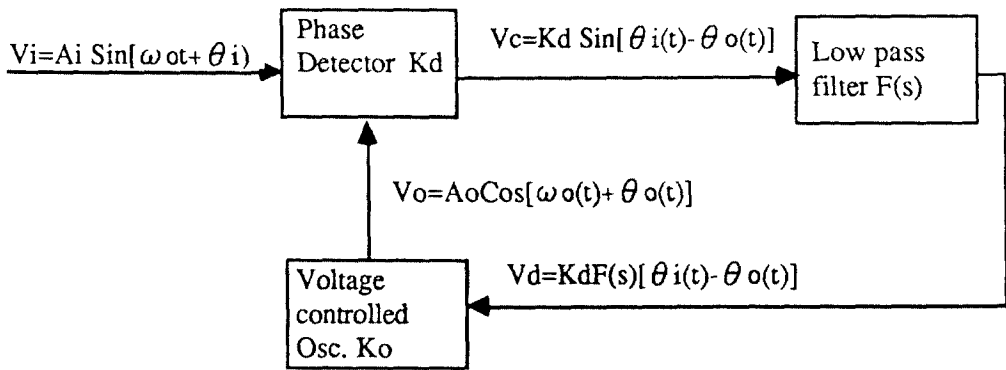


Fig. 2-3 Diagram of mathematical phase lock loop modeling

$$V_d(t) = K_d F(s) \sin [\theta_i(t) - \theta_o(t)]$$

$$= K_d F(s) [\theta_i(t) - \theta_o(t)]$$

여기서  $F(s)$  : filter의 전달함수이다.

phase lock loop system의 수학적인 modeling을 그림 2-3과 같이 표시하고 있다.

### 2) DC모타의 제어

본 연구에서의 핵심부분인 DC모타의 제어는 전술한 PLL system을 이용하여 고도로 정밀한 모타제어제를 구성하였다.

본 장치에서의 PLL계의 기준주파수는 수정진동자를 사용하여 주파수가 안정도 아주 높은 주파수합성기를 구현하였으며<sup>7)</sup>, PLL system의 출력주파수는 1-99Khz이다. 여기에서 high frequency oscillatory ventilator에서

원하는 RPM은 주파수분주회로 그림 2-4에서와 같이 BCD SW를 사용 programmable하게 미리 RPM을 설정할 수 있다.

BCD SW에 의해 설정된 주파수를 2번째 PLL회로에서는 기준주파수로 채용하고 모터 회전수를 검출하는 rotary encoder(OMRON 360 PULSE)의 출력 pulse를 feedback하여 기준주파수와 출력 pulse 비교하여 모터에 설정된 회전수가 나오도록 전력증폭회로에 pulse width modulation 신호를 인가하도록 되어 있다.

### 3) Outlet volume control 및 low pass filter

Outlet volume은 piston pump나 큰진동판

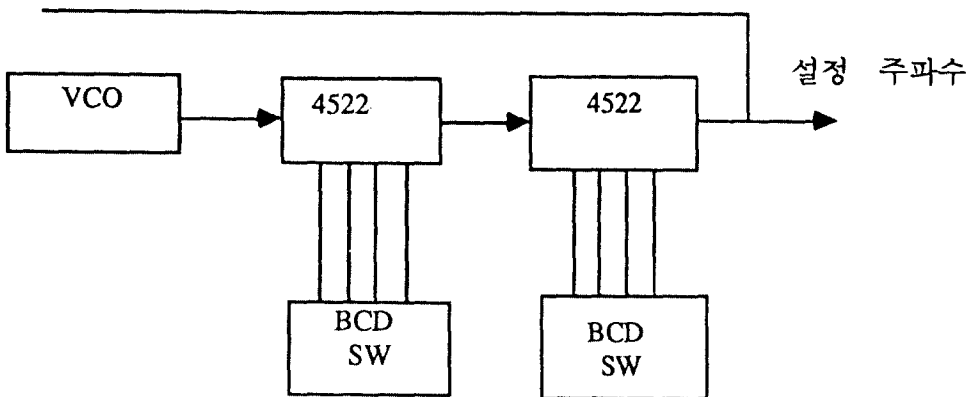


Fig. 2-4 Block diagram of frequency divider

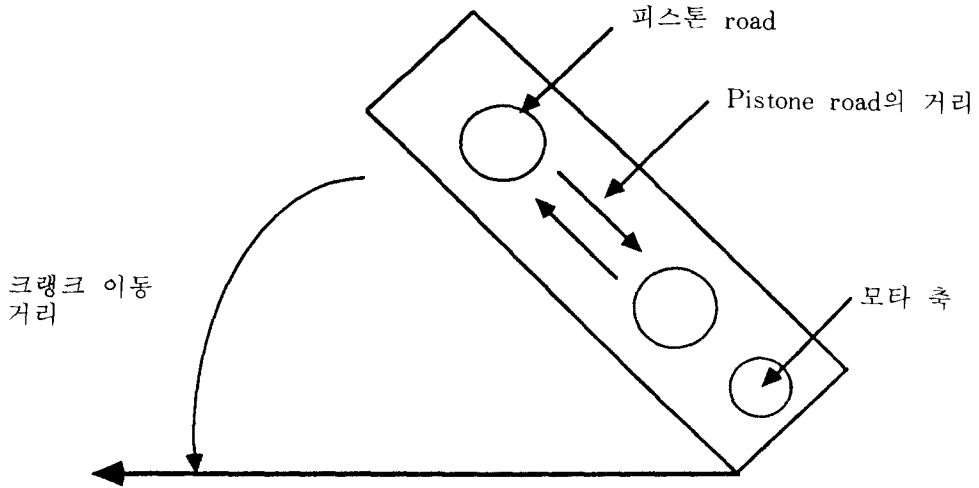


Fig. 2-5 Variance mechanism of the piston road

을 가진(loudspeaker) 확성기 등을 사용하여 유출구로 양압(positive prssure)과 음압(negative pressure)이 교대로 유출된다. 그결과 net bulk flow는 없고 오직 진동 작용만 일어난다. HFOV의 환기작용을 위해 low pass filter를 거쳐 신선한 개스를 공급한다. 여기서 양압과 음압의 제어가 문제가 되는데 실험에 따라 다양한 크기의 양, 음압이 필요하다.

본 연구에서는 piston pump를 사용하는 방식을 채택 하였는데 piston방식에서 시중에서 구할수 있는 linerar ball bearing(THK ST-55UUtype)을 개조하여 piston과 cylinder를 만들었으며 출력 volume은 piston road의 길이를 가변하여 제어 하였다. piston road의 길이를 가변하기 위해서는 실제적인 piston road의 길이는 가변하지 않고 이동거리는 그림 2-5와 같이 모타의 회전축에서 거리를 이동하므로써 piston road의 길이를 가변하는 방향을 고안 하였다.

결 론

본 연구에서는 고빈도 진동환기법(high fre-

quency oscillatory ventilator : HFOV)을 연구하기위해 sytem설계를 하였는데 주된 목표는 환기효율에 중요한 factor인 호흡빈도와 양, 음압의 크기를 정확하고 조절하기쉽게 위상동기루프 시스템(phase lock loop system : PLL)을 사용하여 제작되었다. 이상의 HFOV system의 특징과 성능은 다음과 같다.

A. 특징

- 1) 호흡빈도조절의 정확하고 간편함.
- 2) 양, 음압의 크기 조절의 간편함.
- 3) 크기의 소형화.

B. 성능

- 1) 호흡빈도율 : 20-1800RPM
- 2) 양, 음압의 크기 : 1-50cc

이상의 기능을 갖는 HFOV system은 의료용 보조 호흡기로써 다양하게 사용할 수 있을 뿐 아니라 동물용 실험보조호흡기로써의 기능을 수행할 수 있다. 그리고 저소음, 보다 정확한 모터제어 기능등의 다양한 기능성을 남겨두고 있다.

참 고 문 헌

1. Coumand A, and Motley H., and Werko

- L., and Richard D.W. : Physiological studies of the effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. *Am.J.Physiol.* 152 : 162-74, 1948.
2. Morgan B.C., and Crawford E.W., and Guntheroth W.G. : The hemodynamic effects of in blood volume during intermittent positive pressure ventilation. *Anesthesiology* 30 : 297-305, 1969.
  3. Qvist J., and Pontoppidan H., and R.S., and Lowenstein E, and Laver M.B. : Hemodynamic response to mechanical ventilation with PEEP : The effect of hypervolemia. *Anesthesiology* 42 : 45-55, 1975.
  4. Scharf S.M., and Caldini P., and Ingram R.H. : Cardiovascular effects of increasing airway pressure in dog. *Am.J.Physiol.* 232(1) : 35-43, 1977.
  5. Robotham J.L., and Lixfeld W., and Holland L., and MacGregor D., and Bryan A. C., and Rabson J. : Effects of respiration on the cardiac performance. *J.Appl.Physiol.* 44 : 703-709, 1978.
  6. Blanchard A "Phase-Loced Loop circuit" Howard W. Sams & Co. Inc. 1978. P.45.
  7. Lancaster D "CMOS Cook book" Howard W. Sams & Co. 1977, p.78.
  8. Howar MB "Design of Phase-locked Loop circuit" Howard W. Sams & Co, Inc 1978, P.126
  9. Wright K.R.L., and Lyrene W.E., and Trugg T.A., and et al : Ventilation by high frequency oscillation in rabbits with oleic acid lung disease. *J.Appl. Physiol Respir Environ Exercise Physiol.* 50 : 1065, 1980.
  10. Kolton M., and Cattran C.B., and Kent G., : Oxygenation during high requency ventilation compared with convinental mechanical ventilation on models injury., *Anesth. Analg.* 61 : 323, 1983.
  11. Goldstein D., and Slutsky A.S., and Ingras R.H. : Co elimination by highfrequency ventilation(4 to 10Hz) in normal subjects. *Am. Rev. Respir.* 123 : 251, 1981.
  12. Lunkenheimer P.P., and Frank I., and Ising H. : Application of thranstracheal pressure oscillation as a modification of "Diffusion Respiration". *Br. J. Anaesth* 44 : 627, 1972.

-Abstract-

## A Design of High-Frequency Oscillatory Ventilator Using Phase Lock Loop system

Sang Hag Lee, Dong Gyo Jeong, Joon Ha Lee

*Department of Bio-medical Engineering  
Yeungnam University medical center  
Taegu, Korea*

Kwan Ho Lee, Young Jo Kim, Jae Chun Chung, and Hyun Woo Lee

*Department of Internal Medicine  
College of Medicine Yeungnam University  
Taegu, Korea*

Suck Kang Lee

*Department of Physiology  
College of Medicine Yeungnam University  
Taegu, Korea*

Tae Sug Lee

*Department of Pathology  
College of Medicine Yeungnam University  
Taegu, Korea*

In this study, high frequency oscillatory ventilator was designed and constructed. Using designed by phase-lock loop system, in order to accurately and easily treat both the outlet volume and rpm. A system has been designed and is being evaluated using CD4046A PLL IC. We use this PLL IC for the purpose of motor controls. The device consists of PLL system, pumping mechanism, piston, cylinder, and special crank shaft are required. This system characteristics were as follows :

- 1) Frequency : 20 - 1800rpm
- 2) Outlet air volume : 1 - 50cc