

## 다이아프램 정량펌프의 맥동감쇄 장치

윤승원\* (한국생산기술연구원)

### Pulsation Dampener for Diaphragm Metering Pump

S. W. Youn (Digital Manufacturing System Center, KITECH)

#### ABSTRACT

A mechanical type pulsation dampener for the diaphragm metering pump has been developed. The pulsation pressure is an inevitable phenomenon for the positive displacement pump such as cam operated or solenoid operated metering pump. The pulsation pressure of the metering pump could be the noise source and would be harmful for the piping system which delivers hydraulic fluid.

Developed pulsation dampener consists of three coil springs which have different spring constant and height each other. Depending on pressure magnitude of the piping system, total hydraulic pressure on damping diaphragm which compresses coil springs will be varied. Force equilibrium of the pulsation dampener will be set by manual by adjusting the compressed coil spring height. During the discharge stroke, pulsation dampener stores potential energy that is released as the pumping diaphragm back to an initial position during the suction stroke.

**Key Words :** Metering pump (정량 펌프), Diaphragm (다이아프램), Pulsation pressure (맥동압력), Pulsation dampener (맥동감쇄 장치)

#### 1. 서론

다이아프램 펌프는 왕복동식 펌프의 한 종류이다. 구조 특성상 피스톤 펌프에 비해 작동시 누설이 없으며 마모되는 부품이 없어 단위시간당 일정량의 액체를 투입하는 정량 펌프로 많이 사용되고 있다. 본 연구는 물이나 황산, 염산 등과 같은 액상의 화학 약품을 포함하는 비압축성 액체를 이송하는 다이아프램 펌프에 대한 것이다. 다이아프램 펌프는 일반적으로 모터의 회전 동력을 웜기어를 통해 회전 축의 방향을 바꾸고 회전수를 감속시킨 후 편심축을 돌려, 캠과 접촉하고 있는 플런저를 직선 왕복 구동시켜 플런저 한쪽 단에 연결되어 있는 다이아프램을 작동시키는 방식으로 구동된다(Fig. 1).

Fig. 1 에서, 플런저가 오른쪽으로 이동하면 펌프실의 오른쪽 내벽인 다이아프램도 오른쪽으로 함께 이동되어 아래의 흡입관으로부터 액체가 펌프실 내로 들어오며, 플런저가 왼쪽으로 이동하면 다이아프램이 펌프실의 액체를 위의 송출관으로 밀어낸다. 즉, 흡입행정시 다이아프램에 의한 부압으로

펌프실 내로 빨아 들인 액체를 송출행정시 관로 배압보다 큰 압력으로 제한된 시간에 강제 송출한다.

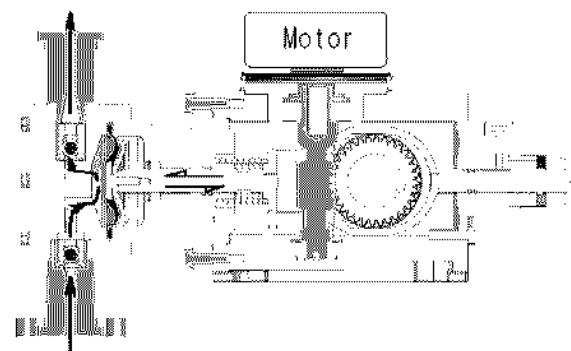


Fig. 1 Section view of a cam operated diaphragm metering pump

다이아프램 펌프의 작동을 구성하는 흡입행정과 송출행정의 압력 편차를 맥동압력이라고 하며, 흡입행정과 송출행정으로 인하여 필연적으로 발생된다(Fig. 2). 맥동압력은 소음 및 진동의 원인이며, 펌프와 관로에 과도한 하중으로 작용하여 관로를 파손시키기도 한다.

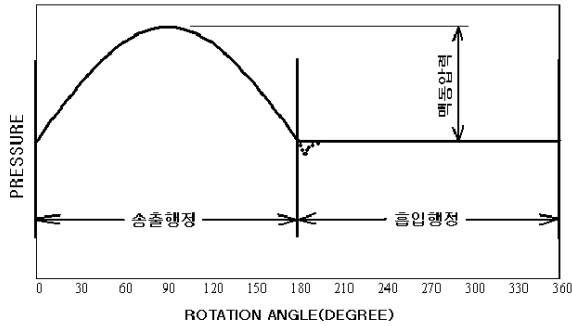


Fig. 2 Schematic for suction and discharge pressure

본 연구는 정량펌프의 맥동압력을 감소시켜 주기 위한 맥동감쇄 장치 개발에 관한 것이다. 펌프 헤드의 한 면에 설치되어 코일스프링으로 지지되고 있는 댐핑다이아프램이 송출행정시 액체를 일시 보존했다가 흡입행정시에 방출하는 방법이다. 코일스프링을 동심원상에 여러 개 배열하여 관로 배압에 맞게 댐핑다이아프램을 지지해 주는 전체 하중을 조절해 줄 수 있는 구조이다.

## 2. 맥동압력의 분포

Fig. 3 은 다이어프램 펌프에서 발생 가능한 압력분포의 여러가지 경우를 나타낸 것이다. 한 사이클에 대한 각각의 곡선 아래의 면적은 매 행정마다의 전체 송출량을 의미한다. 펌프의 송출 효율이 고려되지 않은 (1), (2), (5) 아래의 면적이 각각 서로 같으며, 또한 송출 효율이 고려된 (3), (4) 아래의 면적이 서로 같다.

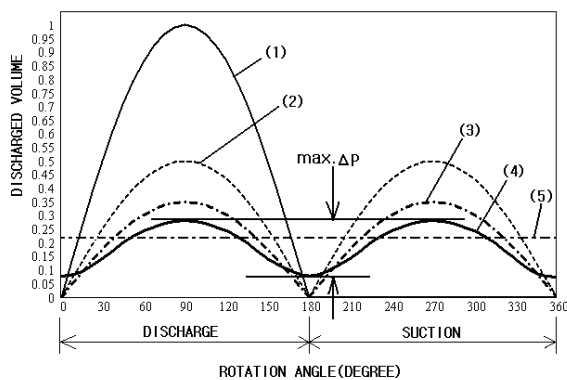


Fig. 3 Diaphragm movement vs. discharged volume

각각의 곡선에 대한 의미는 다음과 같다.

**곡선(1):** 맥동감쇄 장치가 없는 단동식 펌프에 대한 이론 송출 분포이다. 송출량 전체가 송출행정시에 송출되며 흡입행정시 역류가 전혀 없고 맥동압력이 제일 크다.

**곡선(2):** 맥동감쇄 장치가 없는 복동식 펌프에 대한 이론 송출 분포이다. 송출량이 송출행정시와 흡입행정시에 각각 50%씩 똑 같은 양으로 나누어져 정현파 모습으로 송출된다. 최대 맥동압력의 크기는 곡선(1)에 비해 50%로 낮아진다.

**곡선(3):** 펌프 작동시 측정된 송출효율 70%를 곡선(2)에 반영한 송출 분포이다. 최대 맥동압력의 크기가 곡선(2)에 비해 70% 수준으로 낮아진다. 곡선(1)에 비해서는 35% 수준이다.

**곡선(4):** 실제 펌프 작동시에는 액체의 변형 유연성과 점성으로 송출행정과 흡입행정이 바뀌 때에도 흐름이 원만한 형태로 연속적으로 이루어진다. 실제로 펌프를 작동시킬 때, 펌프에 부착된 맥동감쇄 장치가 적절히 작동할 때의 송출 분포로 최대 맥동압력의 크기는 곡선(3)에 비해 작다.

**곡선(5):** 이론 송출량이 맥동압력의 변화가 전혀 없이 송출되는 경우이다. 왕복동 펌프에 있어서 이러한 압력분포는 실제로 발생되지 않는다.

맥동감쇄 장치가 있는 다이어프램 펌프의 경우에는 맥동압력의 분포가 곡선(4)와 같은 형태로 액체가 송출될 것이 예상되며, 관로 배압의 크기에 따라 최대 맥동압력의 크기가 변한다(Fig. 3 에서 max.  $\Delta P$ ).

## 3. 맥동압력 감쇄 방법

맥동압력을 감쇄시키기 위한 일반적인 방법은 다음과 같다.

### 3.1 관로연결형 맥동감쇄 장치

압축 탱크에 유연성 재료의 격막을 설치하여 한 쪽 편에 공기나 질소 같은 압축성 기체를 채운 탱크를 관로 중간에 설치하는 방법이다. 기체가 압축되면서 송출 유체의 일부가 일시적으로 보존되었다가 송출된다. 기체 탱크의 크기를 임의로 할 수 있으며, 유연성이 큰 다이어프램 재료를 사용하면 감쇄 효과가 크다. 펌프와 배관 사이에 별도의 맥동감쇄 장치를 설치해야 하는 관계로 추가적인 공간이 필요하며, 관로 배압에 맞춰 기체의 압력을 적절히 조절해 주어야 하는 등의 제한이 있다.

### 3.2 공기실 부착형 맥동감쇄 장치

펌프헤드에 직접 별도의 공기실을 부착하고, 액체 송출용 다이어프램을 이중으로 설치한 감쇄장치이다. 액체와 공기가 직접 접촉되어 공기실 내의 공기가 송출 액체에 혼합된 상태로 배출되기도 하며, 공기실 내의 공기량이 제한되어 있어 관로 배압이 증가하면 맥동압력 감쇄 기능이 낮아진다.

### 3.3 공기압 자동조절식 맥동감쇄 장치

관로 배압이 변화함에 따라 공기가 자동으로 공기실에 출입되어 항상 낮은 맥동 압력이 유지될 수 있는 구조의 맥동감쇄 장치이다. 이 구조는 3.1 절의 관로연결형을 개량한 것으로 맥동압력을 항상 낮게 유지할 수 있는 장점이 있으나, 고압을 받고 있는 벨로우즈 및 관련 부품들을 만들고 또한 기밀을 유지하는 데 어려움이 있고, 구조가 복잡하며 생산 비용이 비싼 단점이 있다.

### 3.4 공기실 내장형 펌프 헤드

펌프헤드 내에 공기실을 두어 맥동압력을 낮추는 방법이다(Fig. 4). 송출행정시에는 액체가 송출구로 나가기 전에 펌프헤드 내의 공기를 압축시켜 일부가 저장되어 맥동압력이 낮아진 상태로 일부만 송출되고, 흡입행정시에는 압축되었던 공기가 팽창하면서 저장되어 있던 액체가 연이어 송출된다.

펌프헤드의 한 부분이 공기실로 되어 있어 맥동압력 감쇄를 위한 추가적인 부품이 필요없으며, 공기의 높은 압축성으로 맥동압력 감쇄 효율이 높다. 맥동압력 감쇄율은 공기실의 크기와 밀접한 관계가 있다. 즉, 공기실을 크게 하면 감쇄율이 증가하고 공기실을 작게 하면 감쇄율이 낮아진다. 제한된 크기의 펌프헤드 내에 있는 공기실을 일정한 크기 이상으로 크게 하는 데 한계가 있으며, 장시간 사용시에는 공기실에 공기를 보충해 주어야 한다.

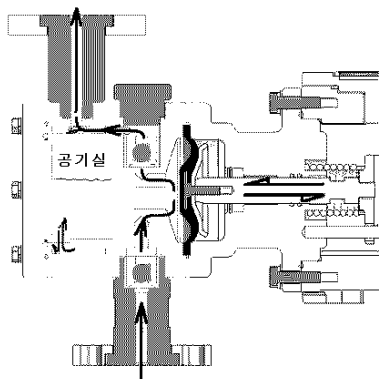


Fig. 4 Diaphragm metering pump head with the air chamber

### 3.5 두 대의 펌프헤드 부착식

관로 시설에 별도의 맥동감쇄 장치를 설치하는 대신 두 대의 펌프헤드를 설치하여 180도 위상차로 각각의 다이어프램을 구동시켜 액체를 송출시키는 방식이다(Fig. 5). 이 방법은 일정한 비율 이하로 맥동압력을 감쇄시킬 수 없는 원리적인 한계와, 펌프를 두 대 설치하고 구동시키는 데 있어 비용이 두 배로 증가되는 단점이 있다.

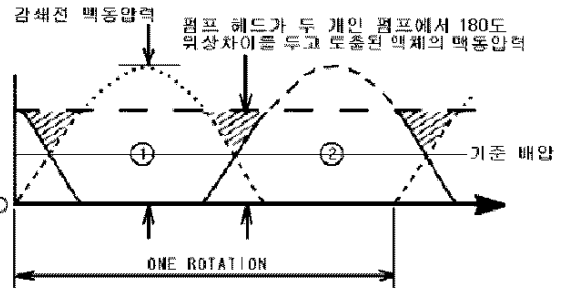


Fig. 5 Pressure distribution for a dual diaphragm pump

## 4. 코일스프링식 맥동감쇄 장치 개발

### 4.1 코일스프링식 맥동감쇄 장치 설계 기준

(1) 2~5 kgf/cm<sup>2</sup>의 관로 배압에서 맥동감쇄 장치가 작동되는 것을 설계 기준으로 한다. 현장에서 사용시 관로 배압의 약 90% 이상이 2~3 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에 있다. 배관시설에 펌프를 설치하여 관로 배압이 한번 정해지면 추후 변동이 거의 없다.

(2) 액체와 공기가 직접 접촉하지 않으며, 맥동압력 감쇄 능력이 반영구적으로 지속되어야 한다.

(3) 현재의 배관 시설에 연결하기 위한 펌프헤드의 외관 치수는 가급적 그대로 유지한다.

(4) 취급 액체가 물, 염산, 황산 등을 포함하는 다양한 종류의 화학 약품임을 고려하여, 맥동감쇄 장치가 취급 액체와 직접 접촉되어 손상되는 일이 없는 구조로 한다.

### 4.2 코일스프링식 맥동감쇄 장치 구조

Fig. 6은 스프링 상수가 서로 다른 세 개의 코일스프링이 병렬로 설치된 맥동감쇄 장치의 3차원 모델의 절단된 모습이다.

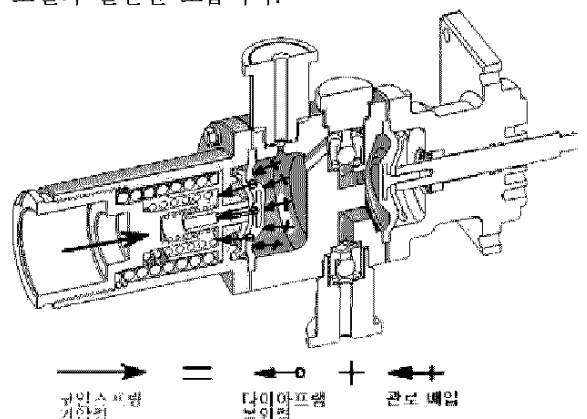


Fig. 6 Section view and force distribution for a coil spring type pulsation dampener

펌핑다이어프램 구동시 펌프실 내로 들어 온 고압의 액체가 펌프실의 한쪽 면을 구성하고 있는 램

핑다이아프램을 누르면 맥동감쇄 장치 내의 코일스프링이 밀려 압축되면서 송출 액체의 일부가 일시 보존되어 송출 압력이 감소된 상태로 액체의 일부만 송출되고, 흡입행정시에는 일시 보존되었던 액체가 코일스프링의 복원력으로 연이어 송출되어 맥동압력이 낮아지는 구조이다.

### 4.3 관로배압과 스프링 압축 하중

관로배압의 크기가  $p$  일 때 면적이  $A$  인 댐핑다이아프램에 가해지는 전체압력  $P$  는  $P=pA$  이다. 맥동감쇄 장치 장착시 댐핑다이아프램 초기 변형에 필요한 하중이  $Q$  이면 코일스프링의 전체 압축력  $R$  은  $R=P+Q$  가 된다. 맥동감쇄 장치의 크기를 작게 하기 위하여 스프링상수가 다른 코일스프링을 병렬로 배치하였다. 스프링의 압축량과 압축력과의 관계를 Fig. 7 에 나타내었다.

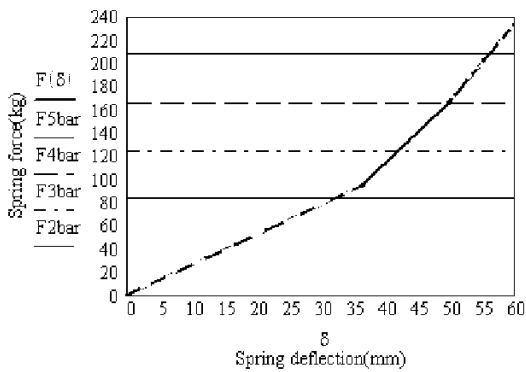


Fig. 7 Coil spring deflection vs. spring force

Fig. 8 은 댐핑다이아프램의 하중-변위 관계 해석용 유한요소 모델이다. 해석 결과, 댐핑다이아프램의 장착에 필요한 하중의 크기는 관로 배압에 의한 전체 면압의 2~3% 수준으로 무시할 만하다.

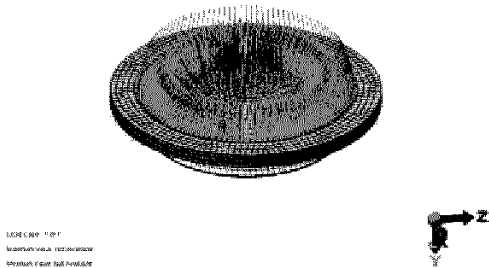


Fig. 8 FEA model of a diaphragm for pressure-deflection

### 4.4 코일스프링식 맥동감쇄 장치의 특징

본 연구를 통하여 개발한 코일스프링을 사용한 맥동감쇄 장치의 특징은 다음과 같다.

- (1) 기존의 펌프헤드가 장착된 배관과 관련된 치수의 변경이 없어 기존의 배관에 연결할 수 있다.
- (2) 맥동감쇄 장치가 펌프헤드의 플런저 구동부 반대 면으로 구성되어 있어 맥동감쇄를 위한 별도의 장치를 추가 설치할 필요가 없다.
- (3) 구조가 간단하며 부품수가 적다.
- (4) 코일스프링을 사용한 기계식으로 맥동감쇄 장치의 하중 특성이 안정적이며 반영구적이다.
- (5) 맥동감쇄 장치를 구성하고 있는 댐핑다이아프램 서브어셈블리를 액체 송출용 펌핑다이아프램 서브어셈블리와 똑 같은 부품을 사용하여 부품의 종류가 추가되지 않는다.
- (6) 관로 배압의 변화에 따라 스프링 간격 조정 볼트로 코일스프링의 가압력을 조절한다.
- (7) 관로 배압이 높을 경우 동심원상에 배열된 코일스프링 세 개가 모두 하중을 담당하는 구조로 맥동감쇄 장치의 크기가 작다.
- (8) 맥동감쇄 장치를 독립된 어셈블리로 만들어 펌프헤드의 한 단에 부착하는 구조여서 생산시의 부품 관리 및 유지 보수가 편리하다.

### 4.5 맥동감쇄 장치 성능 시험

펌프헤드에 있는 액체 송출구 단면적이 어느 정도 이상으로 크면 댐핑다이아프램에 가해진 코일스프링의 압력을 이겨내지 못한 상태로 액체가 송출되어 맥동감쇄 장치가 맥동압력을 흡수하지 못하며, 송출구 단면적이 너무 작으면 맥동압력은 낮아지나 액체의 송출량이 감소된다.

관로배압이 1, 2, 3, 4, 및 5  $\text{kg/cm}^2$ 인 상태로 맥동감쇄 장치가 있는 펌프(Fig. 6)를 작동시키면서 압력을 측정하였다. 측정된 압력을 송출량이 동일하며 맥동감쇄 장치가 없는 펌프(Fig. 1) 및 공기실 내장형 펌프(Fig. 4)의 압력 측정 결과와 비교하였다 (Fig. 9 및 Fig. 10).

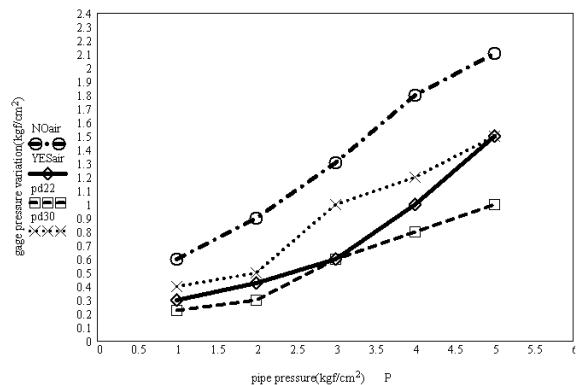


Fig. 9 Measured pulsation pressure

Fig. 9 에서, 일점쇄선은 맥동감쇄 장치가 없는

펌프(Fig. 1), 실선은 공기실 내장형 펌프(Fig. 4)의 압력 측정값이다. 개발된 맥동감쇄 장치가 있는 펌프(Fig. 6)에 있어서, 점선은 송출구 직경이 3.0mm, 긴 점선은 송출구 직경이 2.2mm 인 경우의 압력 측정값들이다.

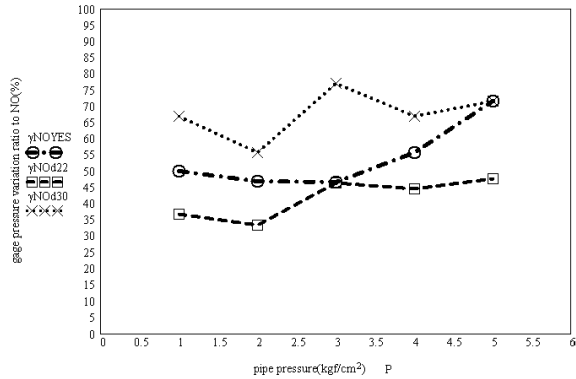


Fig. 10 Pulsation pressure ratio

Fig. 10 은 Fig. 9 의 측정 압력값을 맥동감쇄 장치가 없는 펌프의 압력값을 기준으로 한 비율로 나타낸 것이다. 즉, 점선은 송출구 직경이 3.3mm, 긴 점선은 송출구 직경이 2.2mm 인 맥동감쇄 장치가 있는 펌프(Fig. 6)의 압력값을 맥동감쇄 장치가 없는 펌프(Fig. 1)의 압력값으로, 일점쇄선은 공기실 내장형 펌프(Fig. 4)의 압력값을 맥동감쇄 장치가 없는 펌프(Fig. 1)의 압력값으로 나눈 비율이다.

## 5. 결론

왕복동식 다이어프램 정량펌프에서 필연적으로 발생하는 맥동압력을 낮추기 위하여 펌프헤드의 한 면에 댐핑다이어프램을 설치한 코일스프링식 맥동압력 감쇄장치를 개발하였다. 코일스프링 상수가 서로 다른 세 개의 코일스프링을 병렬로 배열하여 관로 배압의 크기에 따라 댐핑다이어프램을 지지하는 스프링하중을 변경시킬 수 있는 구조이다.

송출행정시에는 고압 상태의 액체가 댐핑다이어프램을 눌러 코일스프링이 밀려 압축되면서 일부가 펌프실 내에 일시 보존되어 송출 압력이 낮아진 상태로 송출되고, 흡입행정시에는 일시 보존되었던 액체가 코일스프링의 복원력으로 연이어 송출되어 맥동압력을 낮추어 주는 맥동감쇄 장치이다.

개발된 맥동감쇄 장치의 정량펌프로 관로 배압 1~5kgf kgf/cm<sup>2</sup> 범위에서 맥동압력을 측정 한 결과, 송출 용량이 같으며 맥동감쇄 장치가 없는 다이어프램 정량펌프와 공기실 내장형 다이어프램 정량펌프의 측정 압력에 비해, 맥동압력의 최대값이 35~45 % 수준으로 낮아진 결과를 보였다.

## 참고문헌

1. US Patent 4,621,990, "Diaphragm Pump", Carl Forsythe, Jon L. Dorminy, Joseph W. Raymon, The Gorman-Rupp Company, Nov. 11, 1986.
2. US Patent 6,095,194, "Pulsation Suppression Device for a Pump", Yoji Minato, Masayoshi Katsura, Makoto Fujii, Nippon Pillar Packaging Co., Ltd., Aug. 1, 2000.
3. 특허 10-0291161, "다이어프램 펌프", 김성철, 한국, 등록 2001.03.08.
4. Whal, A. M., "Mechanical Springs", McGraw-Hill Book Co., 2<sup>nd</sup> ed., 1963.