

동압 유체 베어링 이론을 적용한 수도미터의 성능향상에 관한 연구

윤준용* · 성낙원** · 김병호***

A Study for the Improvement of Performance of the Water-meter applying the Hydrodynamic Journal Bearing Theory

Joon-Yong Yoon*, Nak-Won Sung**, Byung-Ho Kim***

Key Words: Water-meter(수도미터), Hydrodynamic journal bearing system(동압 유체 베어링), Impeller(익차)

ABSTRACT

A study to minimize the error in water-meter is considered in this work. It is presumed that the large amount of error at large flowrate is occurred due to the vibration of the impeller shaft. After a newly designed bushing applying hydrodynamic journal bearing theory is adopted, the error at large flow rate is decreased remarkably comparing with the classical water-meter. It is concluded that the effect of a bushing in water-meter stabilizes the rotator of the impeller shaft.

1. 서 론

유량계는 흐르는 유체의 양을 측정하는 기기로서 산업현장은 물론 가정에서도 많이 사용되고 있다. 유량계의 종류는 원리와 사용 유체, 작동 조건에 따라 매우 다양하며 가격 또한 큰 폭으로 다양하다. 그 중 수도미터는 저렴한 가격에 비해 비교적 정확한 출력과 내구성이 우수한 기기로서 가정용과 산업용에 걸쳐 고루 사용되므로 고가의 장치를 사용할수 없는 가정과 산업현장에서 차지하는 수도미터의 경제적 역할은 크다고 할 수 있다.

대부분의 수도미터들이 한번 장착된 후 오랜 기간 동안 사용되므로, 수도미터에서 발생하는 오차는 최초 장착시는 적은 양이지만 수년간 누적된 오차로 인하여 발생할 수 있는 공급자의 부담 이득이나 손실, 상대적으로 공급받는 자의 손실이나 이득 등은 경제적 손실이나 제조 또는 공급업체에 대한 사회적 불신을 야기할 수도 있다.

기존의 수도미터는 수돗물이 흐르는 방향에 수직한 축에 설치된 익차를 회전시키고, 익차의 회전수를 기계적 또는 전기적인 방법으로 검출하는 형태이며, 대부분 저유량과 대유량에서 오차의 수치가 높게 나타나고 있다. 소유량에서 나타나는 오차의 원인으로는 유체가 저속으로 흐르기 때문에 운동량이 미약하여 축과 지지부사이에 존재하는 마찰력이나 상부내압의 기어박스에 물려있는 회전축의 저항력을 이기지 못하여 익차를 회전시키지 못하고, 유체가 익차의 날개 주위로 흘

* 한양대학교 기계산업공학부

** 한양대 대학원 기계공학과

*** 금호미터텍(주)

E-mail : jyoonyoon@email.hanyang.ac.kr

러 지나감으로써 발생한다고 보는 견해가 일반적이고, 대유량에서 나타나는 오차의 원인으로는 고속으로 회전하는 익차축 지지부에서의 불규칙한 떨림현상이 검출부에 전달되는 과정에서 나타난다고 볼 수 있다.

익차축의 회전을 지지하는 지지부는 수도미터의 성능과 내구성에 크게 영향을 미치는 부분으로, 외산 가스미터나 고가의 정밀측정용 유량계의 경우 볼 베어링을 사용하지만, 가정과 산업현장에서 사용되는 저가의 보급용 수도미터의 경우 가격 상승과 제작의 어려움 등의 이유로 체결용 베어링을 사용하지 않는다. 따라서 축의 회전시, 특히 고속 회전시 심한 떨림 현상이 발생하여 상부 기어세트로의 정확한 회전수 전달에 지장을 초래하고, 계속되는 고체간 접촉에 의한 진동과 충격에 의해 지지부는 물론 기어세트의 수명에도 영향을 미친다.

본 연구에서는 구조상의 변경이나 부품의 추가를 최소화하면서 동압유체 베어링 이론을 도입한 새로운 지지부를 제안하였으며, 이는 전술한 문제점 중 대유량에서 나타나는 오차를 감소시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

2. 본 론

2.1 동압 유체 베어링 이론

동압 유체 베어링 이론은 최근 활발히 연구되고 있는 이론으로서, 기계 요소 부분에 유체를 주입하여 고정체와 회전체 사이의 고체간 직접 접촉을 차단하는 것은 기존 베어링 요소와 같지만, 빗살무늬 또는 나선형 형상주위를 지나는 유체의 국소적인 압력상승에 의해 일시적으로 유체의 강도와 강성을 증가시켜 충격 감쇠효과와 함께 진동 및 소음을 감소시키는 성능개선을 기대할 수 있는 것이 특징으로서, 유체를 주입한 것으로도 마치 베어링 요소를 사용하는 것 이상의 효과를 기대할 수 있다.

동압 유체 베어링은 저널 베어링과 트러스트 베어링의 형태로 상당히 오래 전부터 사용되어 왔으나, 일반적으로 볼베어링에 비해 부하용량이 작고 유체 입자의 누설과 같은 문제를 발생시켜 그 사용이 제한되어 있었다. 그러나 볼베어링과 달리 비접촉 방식으로 수명이 길고, 댐핑(damping)효과에 의한 진동 특성의 향상, 저 마찰소음 등의 동특성이 우수하여 정밀 소형 모터의 베어링으로 주목을 받기 시작하였다. 또한 동압 유체 베어링의 문제점이었던 유체입자의 누설과 부하 용량 향상에 관한 연구가 1970년대 이후 활발히 진행되어 베어링의 한쪽

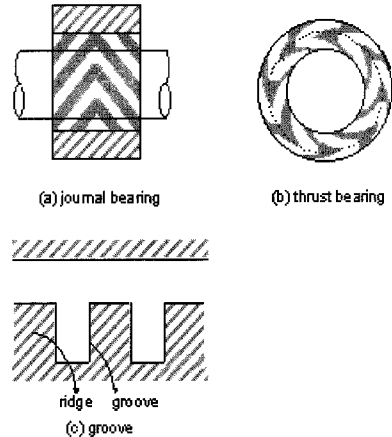


Fig. 1 Schematic diagram of grooved bearing

표면에 그루브(groove)를 파낸 그루브 베어링(grooved bearing)이 나타나게 되었으며,^{(1),(2)} 최근에는 세밀한 그루브의 정밀한 가공을 위한 연구도 진행되었다.⁽³⁾

Fig. 1과 같이 그루브를 파주고 윤활유를 주입하면 자력으로 누설방지효과를 얻게되어 윤활유의 1회 주입으로 반영구적인 윤활 효과를 얻을 수 있으며, 회전시 유체의 점성에 의해서 향상된 부하용량을 얻게 된다. 현재, 트러스트 베어링에는 나선형 그루브가 주로 사용되고 있으며 저널 베어링에는 빗살무늬 그루브가 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는, 익차 회전축을 지지하는 지지부에 나선형 그루브를 가진 부싱을 삽입하여 주위에 흐르는 유체가 강제적으로 유입됨으로써 회전축 부근의 압력이 상승되어 회전축의 지지효과가 발생하도록 하였다. 나선형 부싱에 의한 유체의 압력상승은 회전축의 회전수에 비례하므로, 특히 고속 회전시 더욱 안정적인 지지효과와 그로 인한 오차의 감소를 예상할 수 있다.

2.2 실험 장치 및 실험 방법

2.2.1 모형 제작

주철 재질의 부싱을 제작하여 수도미터의 지지부에 장착하였고 부싱의 안쪽면에 나사산을 가공하였다. 익차는 반시계 방향으로 회전하므로 축의 회전방향을 고려하여 왼나사와 오른나사를 조합한 나사산을 가공하였다. 또한 나사산의 존재와 회전방향에 의해 나타난 효과를 확인함으로써 동압 유체 베어링 이론의 실제 적용가능성 여부를 고찰하기 위하여, 상부는 오른나사, 하부는 왼나사로 가공한 부싱과 상부에서 하부까지

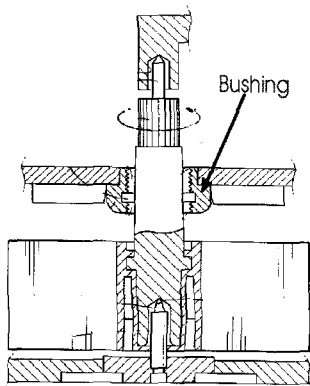
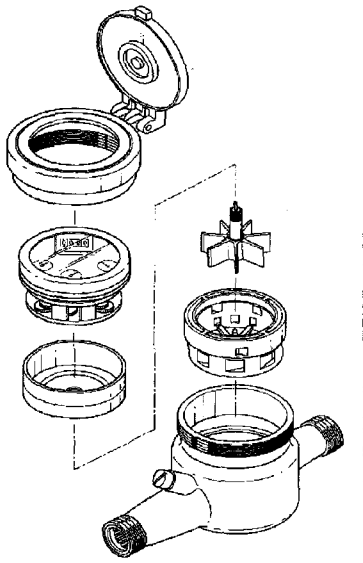


Fig. 2 Schematic diagram of water-meter

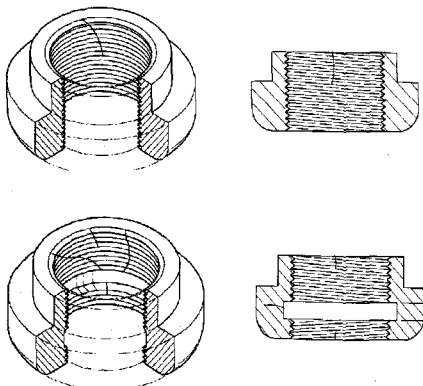


Fig. 3 Schematic diagram of grooved bushing

Table 1 Types of model

Type	Shape of bushing
Model 1	No bushing
Model 2	No screw
Model 3	Right handed screw
Model 4	Upper right handed screw + Lower left handed screw
Model 5	Left handed screw
Model 6	Upper left handed screw + Lower right handed screw

원나사와 오른나사로 가공한 부싱, 나사산이 없는 매끈한 면의 부싱 등을 장착한 수도미터와 부싱을 장착하지 않는 기존의 수도미터를 비교 모델로 사용하였다. 수도미터의 조립도와 부싱의 개략도는 Fig. 2와 3에, 모형의 종류는 Table 1에 나타나있다.

2.2.2 실험 장치

수도미터 기차시험에 사용된 실험장치는 정압탱크, 압력계, 시험대, 유량조절장치, 기준탱크 등으로 구성되어 있으며, 각부의 연결은 가정에서 사용되는 13mm 수도관이 사용되었다. 연직상방 35m에 설치된 정압탱크로부터 공급된 수돗물은 시험대 유입구에서 2.45MPa의 일정압력으로 유지되도록 하였으며, 각 시험대로 연결되는 지류를 각각의 독립된 배관으로 설치하여 시험대간 발생할수 있는 작동시간의 차이에도 정수두가 유지되도록 하였다. 밸브와 유량계로 구성된 유량조절장치에서 유량의 제어가 이루어지고, 실량측정은 국가인증검정기관인 한국기술회에서 매년 검정시험을 받는 기준탱크로부터 산정되었다. 기준탱크는 100ℓ와 20ℓ 용량의 탱크를 조합하여 사용하였다.

2.2.3 실험 방법

유량표(KS 5301 1급)에 의한 13mm 파이프용 수도미터의 기준유량은 Table 2와 같다.⁽⁴⁾

각각의 기준유량에서 유량계에서 출력된 실량에 대한 수도미터 지시값의 정도(精度)를 오차 또는 주로 기차라하며 식 (1)과 같이 산출한다.

$$\text{기차 (\%)} = \frac{\text{지시량} - \text{실량}}{\text{실량}} \times 100 \quad (1)$$

KS 5301 1급기준 유량표에서 제한하는 허용기차는 최소유량(Qmin)에서 전이유량(Qt)까지는 5%이내,

Table 2 Standard flowrates

Flowrates	ℓ/h
Starting	8
Minimum (0.01 Qn, Qmin)	20
Transition (0.06 Qn, Qt)	120
Convection (0.5 Qn)	1,000
Normal (Qn)	2,000
Maximum (Qmax)	3,000

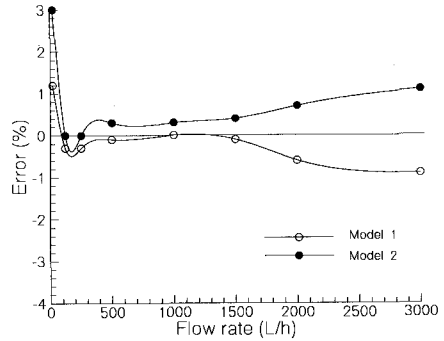
전이유량(Qt)에서 최대유량(Qmax)까지는 2%이내이다.

각각의 모형에 대하여 6개씩의 시작품을 제작하여 시동유량부터 최대유량까지 각 기준유량에서의 수도미터의 출력값을 기록하고 기차를 산출하여 평균값을 구하였다.

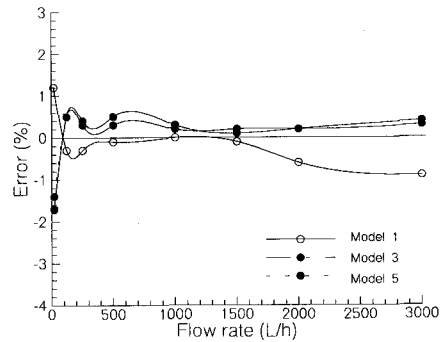
3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 수도미터는 KS 5301 1급기준에서 제시하는 허용오차에 준하는 제품임을 Fig. 4를 통하여 확인할 수 있으며, 유량의 변화에 따른 각 Model의 기차특성은 다음과 같다. Fig. 4(a)에서 보이는 바와 같이 나사산이 없는 부싱이 장착된 수도미터의 경우 최소유량에서는 기존 제품과 비슷한 경향을 보이거나 전이유량 이후 기차가 증가하기 시작하여 표준유량을 지나면서 지시량이 급격히 과도하게 출력되었다. 나사산이 없는 부싱의 존재는 상부축 지지부 부근에서 있다. 나사의 리드방향이 왼쪽 또는 오른쪽, 한 방향으로만 되어 있는 수도미터의 기차비교인 Fig. 4(b)의 경우 전체적으로 감소된 기차를 보이며 특히 대유량에서 원만한 기차를 보이고 있으나, 기차가 불안정한 영역이 증유량 영역인 대류유량까지 확장되었다. 그러나 한방향 나사의 존재로 인하여 상부축 부근에서의 유동이 한방향으로 압력구배가 발생하고 유동이 안정되어 어느 정도 축지지 효과를 나타냈다고 볼 수 있다

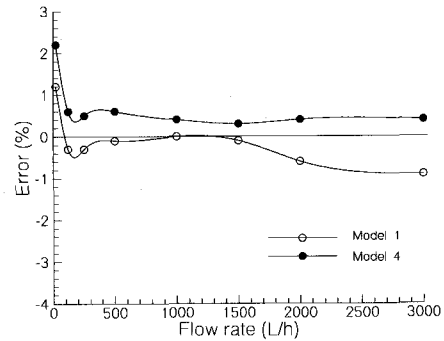
Fig. 4(c)와 (d)는 양방향 나사산이 가공된 부싱이 장착된 수도미터의 기차를 비교한 것으로, Model 4의 경우 지시량이 실량에 비해 전체적으로 과도하게 출력된 유체의 원활한 흐름이나 상부내갑과 하부내갑사이의 유체의 출입에 저해요인으로 작용하여 특히 대유량 영역으로 갈수록 기차를 증가시키고 있음을 확인할 수 있음을 볼 수 있고, Model 6의 경우 소유량 영역에서 벗어난 이후 곧바로 대유량까지 안정적인 기차를 보이고 있다. Model 4의 부싱과 Model 6의 부싱의 나사산의 차이를 고려해보면, Model 4에 장착된 부싱의 나사산과



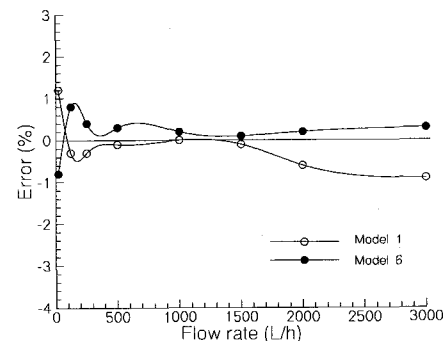
(a) Comparison of Model 1 and 2



(b) Comparison of Model 1, 3 and 5



(c) Comparison of Model 1 and 4



(d) Comparison of Model 1 and 6

Fig. 4 Plots of errors as the flowrates

Table 3 Difference of errors in Q_t , Q_{min} and Q_{max} ($E | Q_a - Q_b |$ is an absolute difference of errors when flowrate is Q_a and Q_b)

	$E Q_{min} - Q_{max} $	$E Q_t - Q_{max} $
Model 1	2.1	1.0
Model 2	3.3	1.2
Model 3	2.7	0.5
Model 4	2.5	0.5
Model 5	1.9	0.5
Model 6	1.6	0.7

같이 서로 반대방향을 향하는 나사산이 조합된 경우 발생할 수 있는 부상 중심에서의 압력강하는 회전축의 지지에 별다른 효과를 주지 못하고 있는 것으로 추측할 수 있으며, 반대로 Model 6의 경우처럼 부싱의 나사산이 서로 같은 방향을 향하고 있으면 부상 중심에서의 국소적인 압력상승을 일으켜 유체의 강성을 증가시키고 회전축 상부의 떨림과 진동의 감소에 효과적인 것으로 볼 수 있다.

Table 3은 수도미터 제작회사에서 유량대역별 기차의 편이정도나 편평도 평가를 목적으로 사용하는 표로서, 본 연구에서도 상기 목적을 위하여 표를 인용, 삽입하였다. 표의 내용은 표제목에도 설명되어 있는 바와 같이 최소유량과 최대유량 또는 전이유량과 최대유량에서의 기차들의 차이를 절대량으로 나열한 것으로서 각 모델들이 넓은 범위의 유량에 걸쳐서 얼마나 안정적인 기차분포를 보이고 있는가를 보여주고 있다.

Model 2의 경우 최소유량과 최대유량, 전이유량과 최대유량에서의 차가 공히 기존제품에 비해 증가하였으므로 대부분의 유동 영역에 걸쳐 기차가 불안정함을 나타내고 있다. Model 3과 4는 최소유량과 최대유량의 차이에 있어서 기존제품에 비해 증가하였고 Model 5와 6은 감소하였다. 또한 전이유량과 최대유량의 차이에 있어서는 Model 2만 기존제품에 비해 증가하였으나 나머지 Model들은 모두 감소하였다.

오른나사의 Model 3은 익차의 회전방향과 나사의 리드방향이 일치하여 상부 내감쪽으로 유체를 공급하려는 경향이고 Model 5는 그 반대이므로, Table 3에서의 Model 3과 5의 기차값으로 미루어 보아 익차 주위를 지난 유체가 상부 내감으로 유입되는 것을 막는 것이 기차 감소에 다소 효과가 있다고 볼 수 있다. 특히 Model 6의 경우 가장 작은 값을 보이고 있으며, 전이유량과 최대유량의 기차값은 Model 3, 4, 5에 비해 Model 6이 다소 크지만 기존제품에 비해서는 훨씬 감소하였다. 이것은 삽입된 부싱에 의해 안정적인 축의 지지와 회전수 전달의 용

이함에 의한 것으로 판단되며 결과적으로 수도미터의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

전술한 바와 같이 제품 조립후 삽입된 부싱에 의해 익차축이 고속으로 회전하여 압력구배가 현저히 나타나는 증유량 이후 대유량 영역에서는 회전축을 견고히 지탱함으로써 축 지지 효과가 발생하기는 하였으나, 본 연구의 대상인 수도미터의 경우 최초로 소유량과 증유량 대역에서 가장 잘 작동하도록 설계되었으므로 완제품에 삽입한 부싱의 역할이 나타나기 전인 소유량영역에서의 전체적으로 불안정한 출력이 각 Model에 걸쳐 모두 나타나고 있다. 이것은 증유량 이하 소유량 대역에 있어서는 부싱이 유동과 익차축의 회전을 방해하는 장애물로 작용하고 있음을 보여주는 것으로 부싱과 같은 부품을 추가를 고려한 설계가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

나사산 부싱을 장착한 점선류 익차형 수도미터의 기차시험결과 나사산의 방향의 조합에 따라 각기 다른 기차특성을 보이고 있으며, 그 중 부상 중심을 향하는 나사산이 가공된 부싱을 장착한 수도미터가 증유량 이상 대유량에서 가장 작은 기차분포를 보이고 있으며, 이것은 동압 유체 베어링 효과에 의하여 익차축이 안정적으로 회전하여 결과적으로 대유량영역에서 수도미터의 정밀도를 향상시킬 수 있었다. 소유량에서 보이는 기차의 불안정은 부싱의 존재에 의한 불안정한 유동형태에 의한 결과로 판단되며, 향후 연구되어야 할 과제로 사료된다.

참고문헌

- (1) Bootsma, J., 1973, "The Gas-Liquid interface and Load Capacity of Helical-Grooved Journal Bearing," Transaction of ASME Journal of Lubrication Technology, Vol. 95, January, pp. 94~100.
- (2) Mujidman, E. A., 1979, "Grease Lubricated Spiral Groove Bearing", Tribology International, Vol. 12, pp. 131~137.
- (3) Kang, K., Rhim, Y. and Sung, K., 1996, "A Study of the Oil-Lubricated Herringbone Grooved Journal Bearing - Part I : Numerical Analysis," ASME Journal of Tribology, Vol. 118, pp. 906~911.
- (4) 한국 산업 규격(KS B 5301-1994), 점선류 익차형 수도미터.