

## 油壓 베인펌프의 摩擦特性

鄭材鍊\* 李鍾純\* 金長賢\*\* 李奉九\*\*\*

\* 全北大學校  
\*\* 全北大學校 大學院  
\*\*\* 圓光大學校

## A Study on the Friction Characteristics of Oil Hydraulic Vane Pump

Jae Youn Jung\*, Chong Soon Lee\*, Jang Hyeon Kim\*\* and Bong Goo Rhee\*\*\*

\* Chonbuk National University

\*\* Graduate School of Chonbuk National University

\*\*\* Won kwang University

**Abstract**-Measurement of the friction force of vane tip have been made to provide essential information for the study of the pump dynamics, the pump design and the analysis of tribological problems in the sliding components. The influences of the radial load, rotating speed and frequency of vane on the friction forces of vane tip have been investigated. The results indicated that the friction coefficient of vane tip are affected by the rotating speed remarkably but the effect of acting load on the vane tip and frequency of load are very small. The stribecks diagram shows that the lubrication regime of the sliding point of vane tip is mixing lubrication.

### 序 論

油壓베인펌프는 吐出流量이 많고 小型으로 動力密度는 높으나 吐出壓力面에서는 피스톤식 펌프에 뒤지기 때문에 發生壓力의 高壓化에 대한研究가 계속되어져 왔다. 油壓裝置의 경제적인 壓力으로서  $300\text{Kg/cm}^2$ 가 제시되어 있는 가운데, 油壓베인 펌프의 高壓化의 研究가 진행중에 있는점, 또한 최근들어 에너지 절약의 일환으로 펌프의 수명 연장 問題가 거론되어지고 있는 점, 물에 타기 어려운 난연성油壓 作動油를 사용할경우 摩擦증대 및 摩耗性能이 저하하는 점 등의 이유에서 油壓 베인 펌프의 摩擦, 潤滑문제가 重要시 되어지고 있다. 특히 펌프의 體積效率를 높이는것과 摩擦, 摩耗를 저하시키는 것과는 서로 상반된 관계에 놓여있기 때문에 問題의 해결에 어려움을 갖고 있다. 이와같은 모순을 해결하기 위해서는 베인과 캠링사이의 슬라이딩부분의 潤滑상태를 파악하지 않으면 안된다. 그러나 베인의 先端部에는 10-20ms의 짧은 시간동안에 수백기압의 壓力이 變化하기 때문에 지금까지 확실한 作用力의 파악이 어려워 이分野의 潤滑상태 파악에 관한 研究는 거의 이루어지지 않고있다. 베인 슬라이딩부의 역학적 저동 또는 베인선단부의 潤滑문제에 착안을 둔 종래의 研究로서는 Beck등<sup>1)</sup> Edwards등<sup>2)</sup>이 베인형 Compressor

에 대하여, Ujii등<sup>3)</sup>이 베인형 진공 펌프에 대하여, Ueno등<sup>4),5)</sup>이 가변용량형 베인펌프에 대하여 각각 摩擦特性에 관한 研究를 했다. 또한 油壓 베인펌프의 摩耗에 대하여는 Saki등<sup>6)</sup>이 각종의 마모제에 대하여 베인 펌프의 壽命을 예측하는 研究를, Ueno등<sup>7)</sup>이 運轉條件, 베인의 형상이 캠링의 摩耗에 미치는 影響에 關하여 Hirata등<sup>8)</sup>, Tao<sup>9)</sup>가 作動油의 種類 및 첨가제의 베인 摩耗에 關한 影響을 발표한바 있다. 油壓베인 펌프와 동일 기구인 베인형 壓縮機의 驅動 토크에 대하여는 Bransford등<sup>10)</sup>, Somayajulu등<sup>11)</sup>이, 또한 로울링 피스톤 형식의 壓縮機에 關하여는 Shimizu등<sup>12)</sup>의 研究發表가 있으며, 가변 容量形 油壓베인펌프의 베인 이탈현상에 대하여 Ueno등<sup>13)</sup>이 實驗的 研究를한바 있다. 그러나 이와같은 내용들은 관련된 機械들의 총체적인 入出力 토크의 特性을 파악했음뿐 機械的 손실을 가져오는 部分들 특히 가장 관련이 큰 베인 先端部에서의 摩擦特性에 대하여 명확한 結果를 제시하고 있지못한 실정이다. 베인과 캠링간의 潤滑상태를 潤滑공학적 관점에서 보면 變動荷重 상태에서의 슬라이딩 탄성유체 潤滑상태 또는 혼합潤滑상태에 있는 것으로 판단되어 지는데, 이와같은 여러가지 어려운 條件때문에 潤滑狀態를 파악하는데 困難점이 뒤따르게 된다. 위와 같은 배경에 착안하여 本 研究에서는 油壓베인펌프를 모델

화하여 變動荷重 상태에서 實驗이 가능한 장치를 제작, 사용하여 베인 선단 슬라이딩부분의 摩擦狀態를 파악하였다.

## 2 實驗裝置 및 實驗方法

실제 베인펌프의 베인과 캠링 사이에 가하여지는 垂直荷重은 로타의 회전에서 의한 베인의 관성력, 베인과 로타 슬리트간의 粘性摩擦力, 베인의 先端과 저면부분에 作用하는 油壓에 의한 힘으로 구분할 수 있다. 이중, 관성력, 점성마찰력은 베인의 양단에 作用하는 壓力에 의한 힘에 비해 극히 적기 때문에 무시할 수가 있다. 베인 주위의 作用壓力으로서의 構造상 베인저면부분에는 로타 회전중 계속 해서 吐出壓力이 作用하며, 베인 先端部에는 吸入, (吐出區間에서 각각 吸入壓力), 吐出壓力이 반복되는 단계상의 형태로 變化하며 그 관계를 그림 1에 나타낸다. 횡축에는 로타

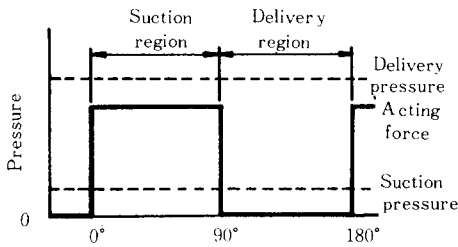


그림 1. 베인주위 압력과 베인선단 위치와의 관계

|      | Vane      | Camring     |
|------|-----------|-------------|
| 재질   | SKH-9     | SUJ-2       |
| 경도   | HRC 60~62 | HRC 64      |
| 표면형상 | 6 μm Rmax | 1.6 μm Rmax |

표 1. 베인과 캠링

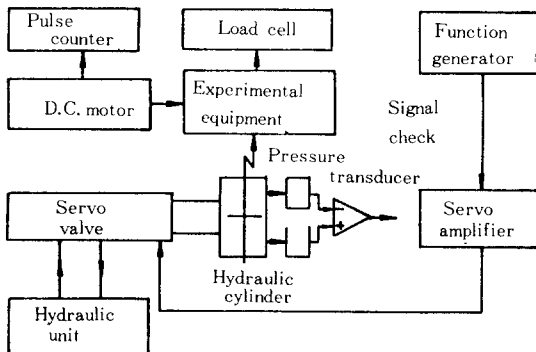


Fig. 2. 측정 계통도

의 회전각도를, 종축에는 베인의 양단에 작용하는 차압을 표시한다. 따라서 베인선단과 캠링 사이에 作用하는 垂直荷重은 단계형상의 變化를 하는것으로 고려한다. 표 1에는 본 實驗에서 사용한 베인과 캠링을 표시하며, 이것들은 실제의 베인펌프에서 使用하는 형상이다. 이와같은 內容들을 종합하여 제작한 實驗裝置 本體의 寫眞을 photo 1.에 개략 圖面을 그림3에 나타낸다. 여기서 직경 200mm의 원판①은 캠링과 同一한 材質, 硬度, 表面 거칠기를 갖고 있으며 D. C모터에 의해서 0-1200 rpm의 범위를 무단변속으로 回轉하도록 하였다. 이 원판의 中心으로부터 75mm의 위치에 베인홀더 ③에 두께 3.1mm 길이10mm의 베인④를 固定시킨 후, 원판에 대하여 變動荷重을 가할 수 있도록 하였다. 作用荷重은 서어보밸브 ①을 이용하여 油壓실린더 ②를 통하여 가하도록 하였다. 作用荷重을 확인하고 조정하기 위하여 油壓실린더 上 下段에 각각 스트레인 게이지식 壓力變換機를 設置하여 항상 양단 실린더실의 壓力을 측정할 수 있도록 하였다. 원판과 베인 사이에 가하여지는 하중의 變動波形, 주파수, 진폭등은 평선 제너레이터에서 임의로 설정할 수 있도록 하였다. 荷重을 가하여 원판을 回轉시킬때 원판과 베인선단 사이에 發生하는 摩擦力은 摩擦力檢出棒 ⑧을 이용하여 로드셀 ⑦에서 檢出하였다. 본 實驗에 있어서의 제어, 측정關係를 그림2에 나타낸다. 實驗條件으로서의 실제 베인펌프의 운전으로서 回轉數 150-750rpm, 吐出壓力 20-80kg/cm<sup>2</sup>의 경우를 고려하여 회전원판의 回轉數를 100-500rpm의 범위로 變動荷重의 變化는 0-50Hz의 범위로, 作用荷重의 진폭은 6-25kgf의 범위로 하였다.

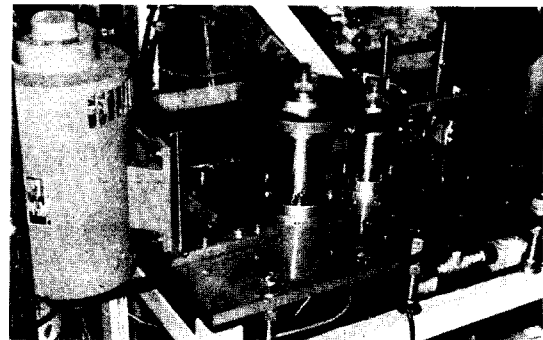


Photo. 1.

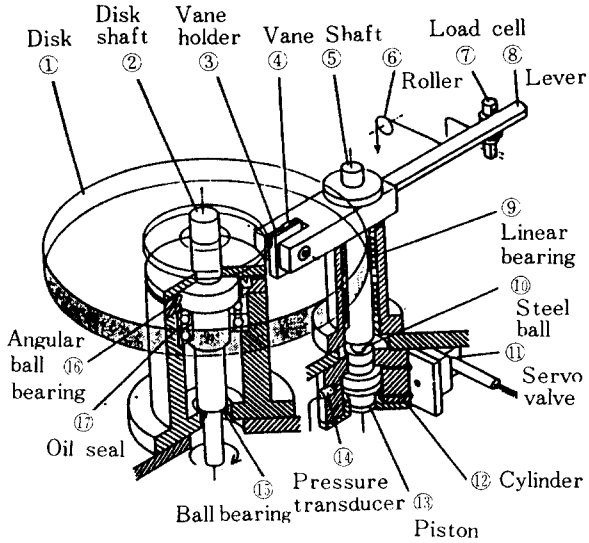


Fig. 3. 실험장치 본체

使用 作動油로서는 베인컴프에 일반적으로 사용되는 ISO VG32에 첨가제를 넣지않은 광물성 기유를 0.8  $\mu$  m의 멤부레인 필터에 여과한뒤 급유하였다. 급유는 1.5m 헤드를 갖도록 기름통을 위치시켜 비닐튜브를 통하여 베인선단과 回轉하는 원판사이에 낙하시켰다.

이와같이 급유가 양호하게 된 상태에서 회전원판을 요구하는 回轉數로 回轉시킨 다음 荷重을 가하는 油壓 실린더 양단의 차압이 요구하는 진동수, 진폭으로 變化하도록 평선 제너레이터를 조정하였다. 위의 상태에서 油壓실린더내의 양단기름의 壓力과, 원판과 베인 선단간의 摩擦力을 디지털 메모리스크프에 기억시킨 다음 펜 레코더에 出力시켰다.

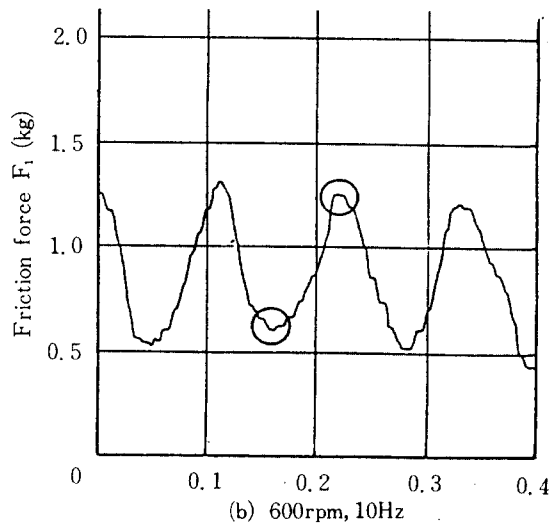
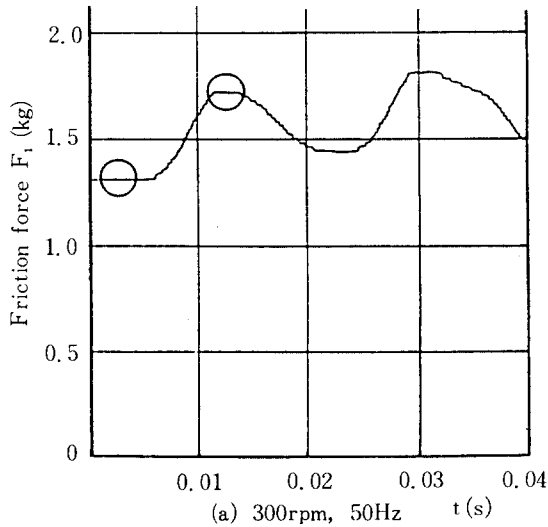
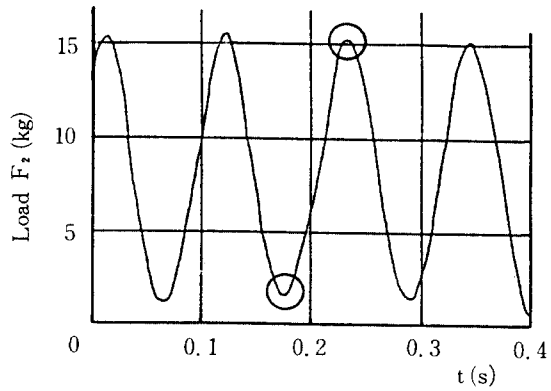
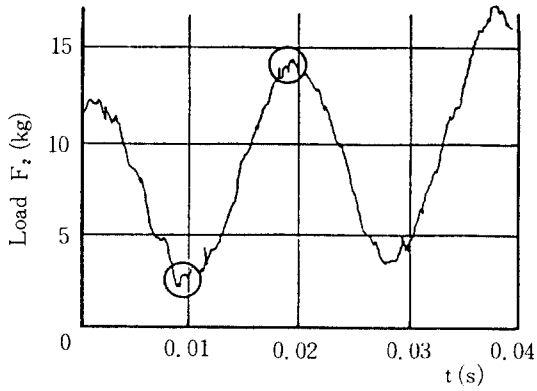


Fig. 4. 마찰력 F1, 하중 F2와의 관계

### 3. 實驗結果 및 考察

회전원판과 베인선단사이에 垂直荷重을 作用시켰을때 나타나는 摩擦力을 파악하기 위하여 그림4(a)에 300rpm, 50Hz의 運轉條件에 作用 最大荷重 5kgf인 경우의 摩擦力을 나타낸다. 그림4(a)의 경우 평선 제너레이터를 통하여 入力시킨 사인파 荷重曲線의 最大, 最小점에서 약간의 變動은 있으나 實驗置로서 良好한 狀態를 나타내주고 있다. 荷重에 대한 摩擦力의 응답으로서 약 0.007s의 시간지연을 나타내고 있으나, 作用荷重과 摩擦力의 關係를 파악하는데에는 별 어려움이 없을 정도로 나타났다. 摩擦力 線圖에서 원활한 사인파 선도를 보여줌으로서 회전원판과 베인선단사이의 接觸狀態 및 潤滑유 공급이 원활함을 나타내어 준다. 이 그림에서 荷重이 0에 가까워져도 摩擦力은 1.3kgf이상의 값을 갖고있어 회전원판과 베인선단사이에 유막이 형성되어 粘性摩擦力을 갖고있는 것으로 파악된다. 여기에서 두 接觸面間의 摩擦係數를 계산하면 荷重이 最大일때 摩擦係數는 最小가 되며, 荷重이 最小일때 摩擦係數는 最大임을 알 수 있다. 摩擦係數의 값은 0.1이상이 분포를 나타내 원판의 回轉速度가 적은점을 감안하더라도 높은 摩擦係數를 나타내고 있다. 그림4(b)에 원판의 速度가 600rpm, 荷重의 波動振動數가 10Hz인 경우의 摩擦力을 나타낸다. 그림4(a)의 경우와 비슷한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 荷重線圖는 振動數가 적기때문에 最大, 最小點에서는 원만하게 入力되고 있음을 알 수 있다. 荷重에 대한 摩擦力의 지연시간은 0.08s이다. 線圖의 형태 역시 50Hz인 경우보다 원만하게 나타나고 있다.

摩擦係數의 범위로서 0.08-0.23을 갖고 있다. 摩擦係數에 대한 影響으로서 주파수보다는 回轉速度의 影響이 크게 나타남을 알 수 있다.

위와같이 여러 條件에서 측정한 摩擦係數를 Stribeck線圖에 表示하여 潤滑 特性을 파악하기 위하여 그림 5에 주파수를 파라미터로 한것을, 그림6에 荷重을 파라미터로 한내용을 나타낸다. 여기에서 摩擦係數는, 荷重이 最大일때의 값으로부터 계산한 것이다. 점도 $\eta$ 는 潤滑유 온도 20°C의 경유의 값을 취했으며, 平均 面壓力  $P_m$ 은, 탄성 變形을 고려한 Hertz의 식으로부터 계산했다. 그림5에서 알수있는 바와같이 摩擦係數  $\mu=0.06-0.17$ 을 나타내며, 無次元 潤滑 파라메타  $\eta N/P_m$ 이 증가함에 따라 摩擦係數  $\mu$ 가 감소하는 성향을 나타내어, 本研究의 實驗條件下에서는 混合潤滑 狀態의 領域에 存在한

다고 할수있다. 캠링에대한 베인의 變動荷重 주파수의 影響을 파악하기위하여 10, 30, 40Hz의 경우에 대하여 圖示하였으나, 摩擦係數에 대한 주파수의 影響은 그다지 크지 않음을 보여주고 있다.

그림 6에는, 作用荷重에 의한 摩擦係數를 圖示 하였다. 作用荷重이 증가함에 따라 摩擦係數가 약간 증가하는 현상을 보이거나 領域을 확실히 구분할만큼 큰차이가 나타나고 있지 않음을 알수있다.

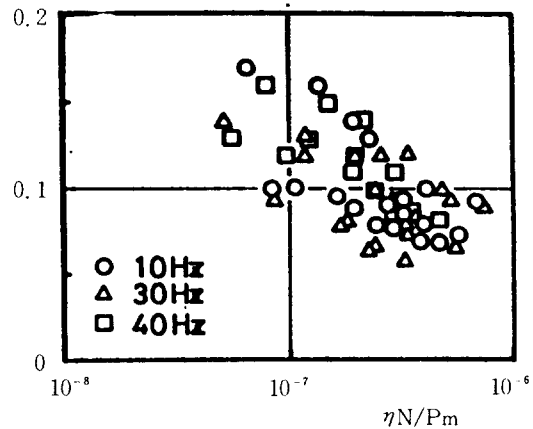


Fig. 5. 베인 선단부의 마찰계수(진동수의 영향)

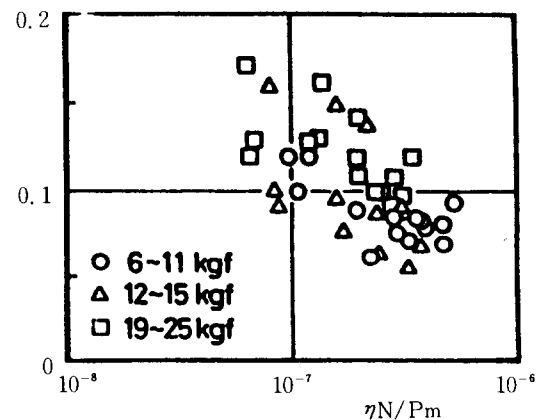


Fig. 6. 베인선단부의 마찰계수(작용하중의 영향)

### 4. 結 論

油壓베인펌프 베인선단부와 캠링간의 潤滑상태를 추

정하기 위하여, 變動荷重을 作用시킬 수 있는 회전원판, 베인 實驗裝置를 제작하여 荷重이 動的으로 作用 하는 條件에서 實驗을 하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 變動荷重이 作用할 때 摩擦力은 荷重의 變化에 대응하여 變化하며, 두面間 摩擦係數의 最大값은 作用荷重이 最小일 때이며, 最小값은 作用荷重이 最大일 때이다.
- 2) 실제 油壓베인펌프의 運轉條件으로부터 回轉數 150-750rpm, 吐出壓力 20-80kgf/cm<sup>2</sup>을 고려한 모델 實驗裝置에서 實驗한 結果 베인先端과 캠링간의 最小 摩擦係數가 0.1정도를 나타내어 混濁 運轉狀態에 있으며, 摩擦係數의 最小값은 作用荷重의 크기 및 주파수의 크기에 는 그다지 큰 影響이 없고 回轉速度의 影響이 크게 作用함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. Beck, W.D., Stein, R.A. and Eibling, J.A., Trans. ASHRAE, 72, Part. 1 (1966), 190.
2. Edwards, T.C. and Mc Donald, A.T., Proc compressor tech. conf. Purdue Univ. Indiana, (1972), 250.
3. Ujiie, Y. and Nishino, H., JHPS, 8-6 (1977), 54.
4. Ueno, H., Kishioka, E. and Morimoto, T., JHPS, 9-1 (1978), 38.
5. Ueno, H., JHPS, 14-1 (1983), 10.
6. Saki, K., Yamamoto, T. and Yamauchi, K., Trans. JSME, 46-409 B (1980), 1687.
7. Ueno, H. and Okajima, A., Trans. JSME, 52-480, B (1986), 2990.
8. Hirata, M. and Watanabe, H., ASLE Trans., 22-4 (1978), 342.
9. Tao, F.F. and Appeldoorn, J.K., ASLE Trans., 13-3 (1970), 169.
10. Bransford, E.O. and Stein, R.A., Trans. ASME, Ser. A (1960-7), 221.
11. Somayajulu, K.D.S.R., Trans. ASME, Ser. D (1971-12), 505.
12. Shimizu, T., Shiga, T. and Tyuu, I., REFRIGAG-ERATION, Vol. 50, No. 573, (1975), 505.
13. Ueno, H., and Okajima, A., Trans. JSME, 52-447, B (1986) 1458.