

PIV시스템을 이용한 왕복동형 압축기 밸브시트 내의 내부유동측정 및 가시화

박종호[†] (부산대 기계공학과 대학원)·김경천^{*} (부산대 기계공학부)

Internal Flow Measurement and Visualization of Inside Valve Sheet of a Reciprocating Compressor Using a PIV System

Jong Ho Park[†] (Graduate School, Pusan National University)
and Kyung Chun Kim^{***} (School of Mechanical Engineering, Pusan National
University)

Key Words: Valve Sheet(원판형 리드밸브), Reciprocating Compressor(왕복동형 압축기), Velocity
Filed(속도장), Flow Analysis(유동해석)

Abstract

PIV(Particle Image Velocimetry) was used to visualize the interaction of reed valve of the reciprocating compressor. The valve is the key part which governs the efficiency, noise and reliability of the compressor, so the development of analytical model about valve performance is necessary. As the valve reed is opened and closed by pressure pulsation, the flow characteristic of the refrigerant passing the valve is very important. In the present study, a circular disk with inclination is assumed to be the valve reed of a reciprocating compressor. The mean velocity shows the vortical characteristic of this flow. It is found that the back flow is affected by the height of reed valve of reciprocating compressor.

기호설명

V_{∞} : 자유유동속도

V_{avg} : 평균속도

1. 서 론

현재 우리는 환경문제 및 에너지 부족사태를 겪고 있다. 그래서 이를 위해 에너지의 효율을 높이는 공학적인 여러 가지 연구가 진행되고 있다.

그래서 왕복동형의 압축기에서도 더 좋은 성능과 소음 및 에너지 효율을 늘리기 위한 연구들이 다방면으로 진행되고 있다.

최근까지도 압축기의 효율을 높이는 연구에서는 trial-and-error에 의한 방법이나 실험 변수법에 의한 방법을 이용해왔다. 하지만 실제 왕복동형의 압축기의 실제밸브시스템의 리드밸브는 압력맥동에 의해 열리고 닫히기 때문에 복잡한 유동현상이 일어나고 있다. 그래서 수치해석을 통한 방법을 이용했다. 이를 해석하기 위해서는 밸브시스템의 단순화가 필요하며, 반경방향 디퓨저에서의 층류, 비압축성 유동장으로 단순화하였다. 이와 같이 반경방향 디퓨저에서의 유동장으로 모델링되는 밸브시스템의 유효 유동 및 유효 힘 면적의 측정 실험은 브라질 Santa Catarina 대학과 EMBRACO에 의해 발표되었다. Ferreira et al.(1), Prata et al.(2),

[†] 부산대학교 기계공학과 대학원

^{*} 부산대학교 기계공학부

E-mail : kckim@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-2324

Gasche et al.(3), Possamai et al.(4) 등에 의해 실험이 행하여졌으며, 밸브계의 형상이 복잡하여 성능해석의 이론적 접근이 힘들기 때문에 실험장치를 활용하여 성능특성을 측정하고 분석한 것으로 이해된다. 하지만 실제 밸브시스템은, 이것은 이를 해결하기 위해서 다방면의 연구가 진행되고 있는데 이 중에서 PIV시스템을 이용한 유동가시화 및 정량적인 분석이 효율적인 연구방법으로 대두되고 있다. 이인섭(2003)(5)은 PIV시스템을 이용하여 왕복동형 압축기의 discharge valve의 유동을 측정하였다. 본 연구는 이를 바탕으로 PIV시스템을 이용하여 실제밸브모델을 기하학적인 상사를 통해 압축기의 내부유동을 정량적으로 측정하고자 한다.

2. 실험조건 및 실험방법

본 연구에서 사용된 풍동은 소형 개회로 형태이다. 송풍기에서 나오는 유질이 고르지 못하기 때문에 스크린을 송풍구 출구, 정체실의 입구와 출구에 설치하여 균일한 유동을 이루게 하였다. 수축부는 3차원으로 설계제작되었다. 측정구간의 단면크기는 100mm X 200mm 이다. Fig. 1 은 본 실험에 사용된 풍동의 개략도이다. 풍동 내부의 속도는 송풍기에 인가하는 전압에 조절된다본 실험에 적용된 PIV 시스템은 펄스당 최대출력이 250mJ인 이중 펄스 방식의 Nd-Yag 레이저, 고해상도 CCD 카메라, 동기화 장치(Synchronizer, TSI610032) 및 화상처리보드(TSI 610066) 그리고 펜티엄 컴퓨터로 이루어져 있다. 광원으로 사용된 레이저빔은 반사경과 구형의 렌즈를 통하여 얇은 평면광으로 형성되어 시험구간을 조사된다. 화상자료의 획득을 위하여 1K X 1K의 해상도를 가지는 PIVCAM 10-15 CCD 카메라가 사용되었다. 획득되는 화상이 약 280mm X 280 mm 인 경우에는 CCD 카메라에 18 ~ 108 mm 광각렌즈를 부착하였다. 사용된 입자는 캐비테이션 원리를 이용한 라스킨 노즐을 사용한 올리브 오일 에어로졸로서 입자의 평균 직경은 2 로, 유동에 영향을 거의 주지 않는 PIV 계측에 적당한 크기이다. 화상획득은 각 경우에 대해 최대 2000(속도장 1000개)장에서 1200(속도장 600장)장까지 획득하였으며, 속도벡터의 계산과 후처리는 실험실에 자체 개발 프로그램인 PIV_ ACE v1.0을 사용하였고, 이 프로그램에 대한 검증은 충분히 이루어졌다. 속도벡터 추출 알고리

즘은 이중 화상 상호상관기법(Two frame cross-correlation)을 이용하였다.

속도를 계산하기 위한 탐색영역(interrogation window)의 크기는 32X32 픽셀이고, 50%의 겹침을 사용하였다. 따라서 실제 속도벡터의 간격(grid size)은 16픽셀이 된다. 구해진 후처리 프로그램으로 불량벡터의 제거, 속도벡터구배의 계산 및 앙상블 평균등 통계적 처리를 수행하였다.

아래의 Fig 2-(a)와 Fig.2-(b) 과 같이 레이저 시트면을 각각 위에서 6cm과 10cm으로 만들어서 측정하였다. 각 실험조건은 Table 1과 같고, 리드밸브의 거리간격의 조정은 X축의 마이크로 스테이지를 이용해서 조정하였다.

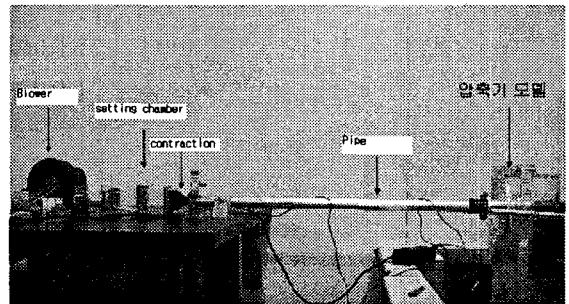


Fig.1 Schematic of experimental setup

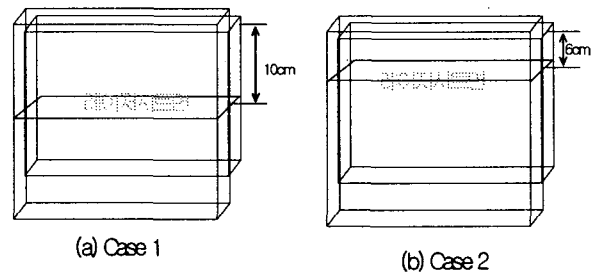


Fig.2 실험을 위한 측정영역

Table 1 Experimental Case

거리간격	출구속도	거리간격	출구속도
0.5mm	1.6m/s	2.5mm	4.4m/s
1mm	3m/s	3mm	5m/s
1.5mm	3.3m/s	3.5mm	6.6m/s
2mm	3.8m/s	4mm	8.4m/s

3. 실험 결과

위의 실험결과 실제 압축기의 상사모델을 가지고 PIV측정실험 통해서 압축기의 평균 속도장을 측정 한 것으로써 이것은 리드밸브의 거리간격을 0.5mm간격으로 움직이면 속도장을 측정하였다. Case 1 경우에서 streamline을 보면 Fig.4와 Fig.6과 Fig.8에서 보면 back flow현상이 보임을 알 수가 있다. 이것은 밸브 내부의 유동에서 reed valve가 열리면서 출구 쪽은 diffuser 현상이 나타나며, 출구 쪽의 뒤쪽부분은 nozzle현상이 나타남을 알 수가 있다. 그리고 압축기 모델의 형상의 특성상 안쪽의 원형 단면이 존재한다.

그리고 각 그림을 보면 알 수 있듯이 속도 벡터장에서 출구 쪽의 끝부분에서 앞에서 말한 것과 같이 nozzle 현상이 발생함으로써 속도와 압력이 증가하지만, 출구의 앞부분은 diffuser 현상이 발생함으로써 속도와 압력이 상대적으로 감소하게 된다. 이때 점성의 영향을 받는 유동 영역은 감소하게 되고, 유선형이 아닌 물체에 대해서는 또 다른 유동 특성이 관찰할 수 있다. 이것은 유동박리(flow separation)현상이 나타난다.

원통이 지나는 유동에서는 레이놀즈 수가 낮은 경우에는 원통의 존재와 이에 따른 점성의 영향이 비교적 넓은 유동 영역에 미친다. 원통의 모든 방향으로 직경의 수 배에 걸쳐 점성의 영향이 중요하다.

거리간격이 증가하면 즉 reed valve의 거리간격이 증가하게 되면, 원통 앞 부분에서 점성의 영향이 미치는 부분이 줄어든다. 점성 영향은 하류로 전달되고 유동의 대칭성은 없어진다. 외부 유동의 중요한 특성- 즉, 유동이 박리점(separation point)에서 물체로부터 분리되는 현상-을 Fig.3, Fig.5, Fig.7에서 볼 수가 있다. 그리고 이것은 점성력을 바든 지점은 하류로 밀려 가서, 원통 전단에는 아주 얇은 경계층이 형성되고, 불규칙하고 비정상적인(난류 특성의) 후류 영역이 하류로 확산하게 된다. 이때에 압축기 밸브에 나쁜 영향을 미치는 back flow 현상이 나타남을 알 수가 있다.

그리고 case2의 경우에는 case1보다 측정평면을 reed valve의 중심선보다 40mm정도 위로 설정하였고 이때의 유동의 특성은 case1과는 다른 형태의 유동의 특성이 나타나고 있다. 여기에서 거리

간격이 2mm지점에서부터 오른쪽 위쪽과 아래쪽에서 서서히 와류(vortex)가 발생하는 것을 볼 수 있다.

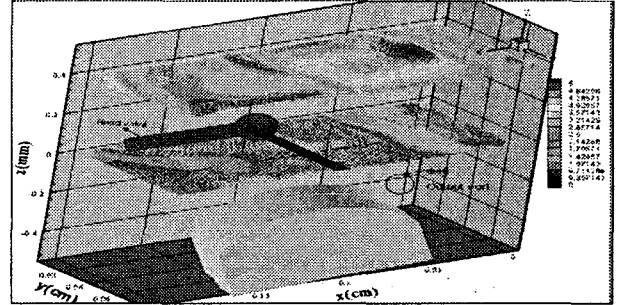


Fig.3 Mean velocity at displacement 1mm

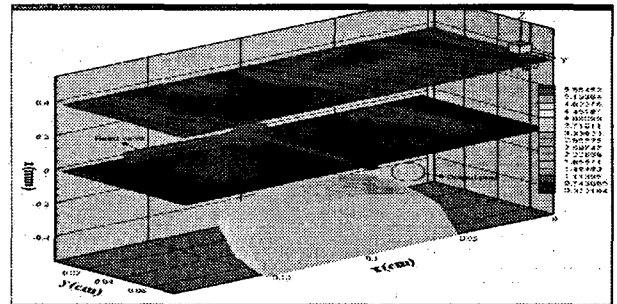


Fig.4 Streamline at displacement 1mm

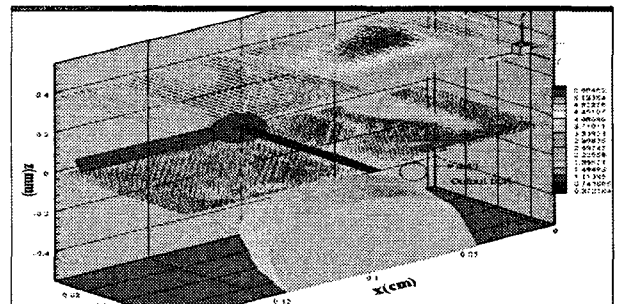


Fig.5 Mean velocity at displacement 2mm

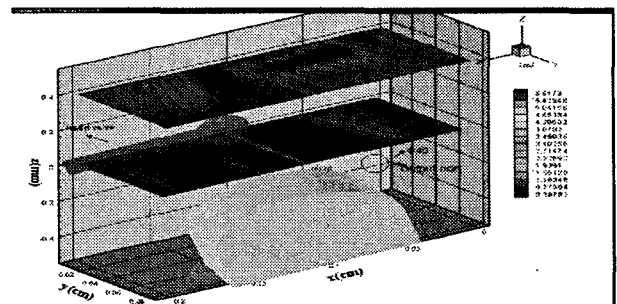


Fig.6 Streamline at displacement 2mm

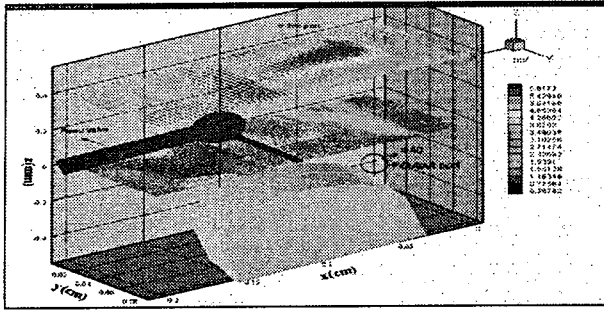


Fig.7 Mean velocity at displacement 3mm

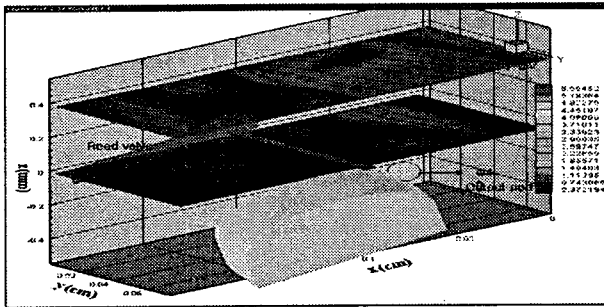


Fig.8 Streamline at displacement 3mm

후 기

본 연구는 LG전자의 지원하에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Ferreira, R.T.S., Driessen, K.L., 1986, Analysis of the influence of valve geometric parameters on the effective flow and force areas, Ninth Purdue Compressors Technology Conference West Lafayette, USA, pp. 632-646
- (2) Prata, A.T., Ferreira, R.T.S., 1990, Heat transfer and fluid flow considerations in automatic valves of reciprocating compressors, Proceedings of the 1990 International Compressor Engineering Conference West Lafayette, USA, I, pp.512-521
- (3) Gasche, J.L., Ferreira, R.T.S., Prata, A.T., 1992, Pressure distributions along eccentric circular valve reeds of hermetic compressors, Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue West Lafayette, USA, IV, pp. 1189-1198
- (4) Possamai, F.C., Ferreira, R.T.S., Prata, A.T., 2001, Pressure distribution in laminar radial flow

through inclined disks, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 22, pp. 440-449

- (5) In-seop Lee, Seung-Chul Park, Jin-Ho Han, Akikazu Kaga, 2003, Investigation of the discharge flow field in discharge system of a reciprocating compressor using PIV, 5th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Busan, Korea, September 22-24, 2003