

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.17. No.3, 1997

정방향 발열체를 갖는 수직채널 내부의 공기유동 관한 PIV계측

배석태*, 김동균**, 김시범**, 조대환***, 이영호***

- * 동명전문대학
- ** 동아대학교
- *** 한국해양대학교

PIV Measurement of Airflow in a Vertical Channel With Square Heat Source

S. T. Bae*, D. K. Kim**, S. P. Kim**, D. H. Cho***, Y.H. Lee***

- * *Dong-Myung Coll*
- ** *Dong-A Univ*
- *** *Korea Maritime Univ*

요 약

정방향 발열체를 갖는 수직채널내부의 공기유동을 고찰하고자 레이저를 광원으로하는 가시화 실험을 행하였다. 영상처리시스템은 퍼스널컴퓨터의 내부에 장착할 수 있는 범용의 이미지보오드로 구성하였고 광원으로서는 아르곤-이온레이저와 원통형렌즈를 이용하여 시이트라이트를 만들어 이를 대상 유동장에 조사하고 유동장의 영상을 기록하였다. 전유동장의 순시속도벡터는 2차원 PIV시스템에 의하여 구하였고 채택된 동일입자추적기법은 계조치상호상관법이다. 발열체의 발열량은 5W로 균일하며 유입유속은 0.3m/sec으로 일정하게 하였다. 가시화를 통한 PIV계측 결과는 운동에너지와 난류운동에너지의 분포 등에서 유동패턴을 잘 나타내었다.

Abstract

An experimental study was carried out in a vertical channel with square heat source by visualization equipment with laser apparatus. The image processing system consists of one commercial image board slit into a personal computer and 2-dimensional sheet light by Argon-Ion Laser with cylindrical lens and flow picture recording system. Instant simultaneous velocity vectors at whole field were measured by 2-D PIV system which adopted two-frame grey-level cross correlation algorithm. Heat source was uniform heat flux(5W). The obtained results show various flow patterns such as the kinetic energy distribution and the turbulent kinetic energy distribution.

1. 서론

기계기술의 발전은 각종 전자 제어 기기와 자동화기술의 접목으로 빠른 진보를 하고 있으며 1990년대 이후 개인용 컴퓨터를 이용한 메카트로닉스 응용기술도 괄목하게 발전되고 있다. 최근에는 전자장비가 소형화, 집적화, 고도화되면서 기기 내부의 열발생률도 증가하여 전자장비의 신뢰도를 떨어뜨리는 등 제반문제점을 나타내고 있다. 일반적으로 전자장비들은 구조적으로 열에 취약하고 특히 동력계통에 사용되거나 협소한 공간에서 이용될 경우 발열에 의한 제반문제는 기기의 안정성의 측면에서 반드시 해결되어야 할 과제이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 장방향의 내부공간에서 일정한 속도로 움직이는 공기의 유동특성이 우선적으로 파악되어야 하며 발열체의 특성과 주위의 온도 특성에 따른 신뢰성있는 계측이 우선적으로 필요하며 이는 공학적으로 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

이와 관련된 연구로서는 먼저 수치적 모델링^{1),2)}을 통한 연구결과를 들수 있다. 이러한 연구의 대부분은 채널캐비티를 기본으로 하고 내부의 벽면에 부착되어 있는 발열체의 갯수, 간격 그리고 발열량에 따른 열전달현상이나 유동패턴에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 실험적연구^{3),4)}로서는 구동류에 의해 전단응력을 전달받는 구조에 대하여 PIV(Particle Image Velocimetry : 입자영상유속계^{5),6)}가 원리적으로 3차원의 유동장까지에 대하여 비정상 및 동시다점계측이 가능하고, 유동장의 영상보존에 의한 재현성확보가 용이하여 전산유체역학에 필적하는 할 수 있는 계측기법으로 평가되고 있다. 공기실험에 대하여는 여러가지 제한적인 요인들로 인하여 작동매체를 액체를 사용한 결과가 일부 보고되고 있다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 작동유체를 공기로 하는 수직채널 내부의 정방향 발열체가 있는 구조의 유동장에서 레이저를 광원하여 가시화 실험을 행하고 이 결과를 PIV에 의해

전유동장의 속도를 계측 하였다. 그리고 계측된 속도벡터로부터 운동에너지와 난류운동에너지의 분포를 구한 결과 전체유동패턴을 잘 나타내었다.

2. 실험

사진1은 본 연구에서 사용된 실험장치를 보이고 있다. 사진의 가운데에 수직채널이 바닥으로부터 1m의 높이로 설치되어 있고 스모크제너레이터는 채널하부에 위치되어 있음을 보이고 있다. 여기에서 발생한 연기는 주위공기와 함께 정류기를 거친후 채널내부로 유입되어 시험부의 상부에 부착된 길이 400mm의 소형 풍동에 의해 강제배출 된다. 이때의 공기유속은 열선유속계(Kanomax 7224, Japan)로 측정하였다. 사진의 우측하부에는 발열체와 풍동에 장비된 3개의 팬에 공급되는 직류전원장치이다.

그림1은 본 연구에서 사용된 유동장의 개략도이다. 유동장의 길이는 435mm이며 폭은 45mm이다. 실험 대상 유동장은 발열체가 부착된 좌측 관만을 베이크라이트로 가공하고 그 외에는 두께15mm의 아크릴판을 사용하여 가시화에 적합하도록 하였다. 발열체의 크기는 가로 세로가 각각 15mm이며 상부로부터 260mm위치에 벽면에 밀착하여 부착하고 설치간격은 인 15mm의 간격으로 연속하여 3개를 설치하였다. 발열체는 열전도율을 고려하여 재질을 순동(열전도율 386W/m²C)으로 하였으며 가공은 허용공차 2/1000mm이내가 되도록 밀링으로 표면을 정밀가공하였다.

그림2는 발열체내부구조를 보여주고 있다. 전도관은 폭과 높이가 각각 15mm이며 길이 220mm이며 내부에는 전도관을 가열하기 위하여 니크롬선을 이용하여 발열량이 5W를 유지하도

록 하였다. 또한 표면온도가 등온을 유지하도록 열원체와 전도관 사이에 열용량이 큰 마그네슘옥사이드(Magnesium oxide)분말을 넣은 후 양단을 실리콘으로 밀봉하였다.

또한 내부의 공기를 일정하게 배출하기 위하여 별도의 풍동을 제작하고 상부에 길이 225mm 높이 100mm의 서랍식 개폐구를 양쪽에 장착하여 실험조건에 따라 개폐정도를 조절하여 유속을 0.3m/sec로 일정하게 유지 하였다. 표1은 개폐도에 따른 유속을 계측한 결과이고 실험은 양쪽개폐구를 22.5mm열은 상태에서 가시화 하였다. 유동의 가시화실험은 내부유동이 충분히 발달한 상태에서 수직채널의 좌측에서 300mW의 공랭식 아르곤 이온 레이저에 원통형 렌즈를 부착하고 약 2mm의 전후의 두께를 갖는 시이트라이트를 계측단면에 조사시키고, 하부의 공기 유입부에 스모크제너레이터를 설치하여 연기입자가 내부 유동장에 연속적으로 유입하게 하였다. 그리고 입구구간의 영향을 최소화하기 위하여 내경 5mm이며 길이 80mm인 정류관다발을 설치 하였다.

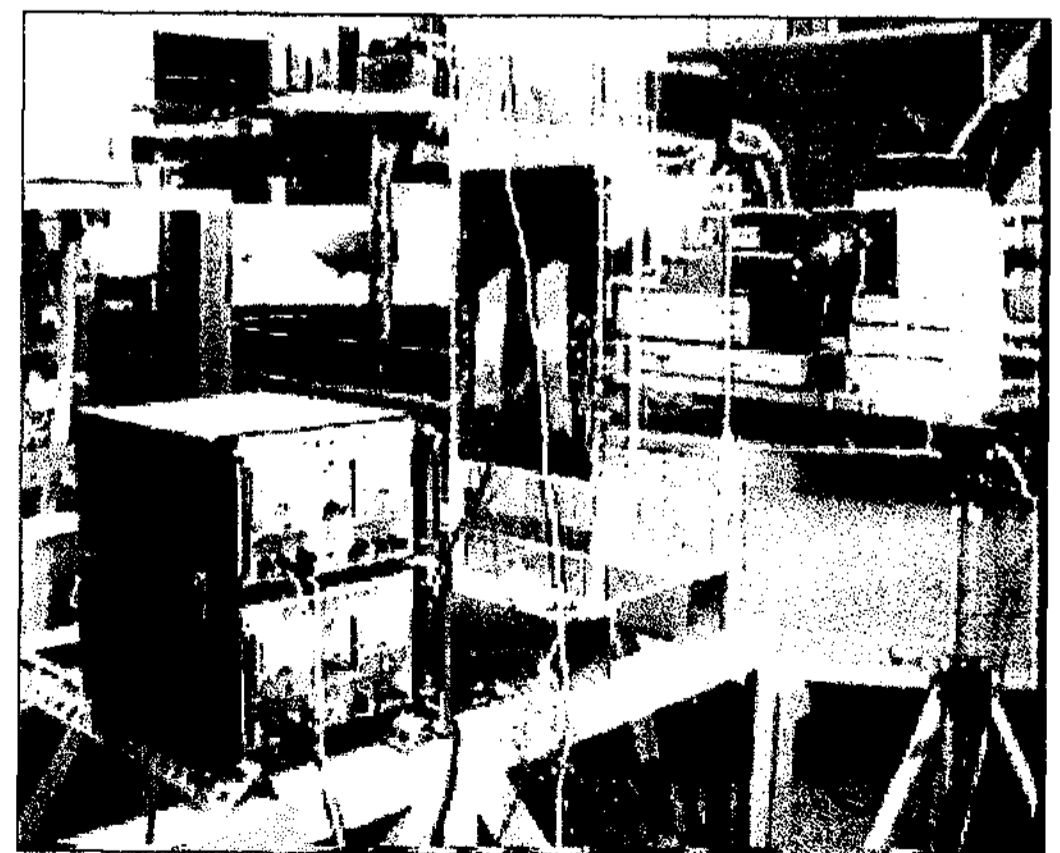


Photo 1 Experimental Apparatus

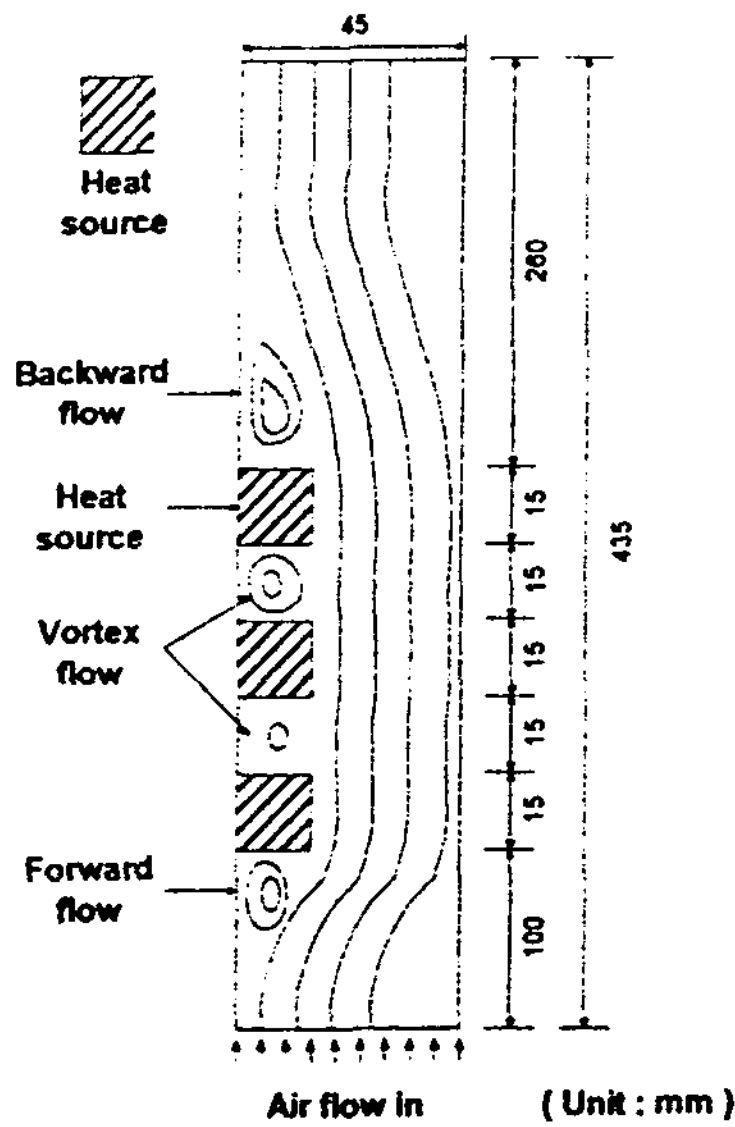


Fig.1 Dimension of Vertical Channel

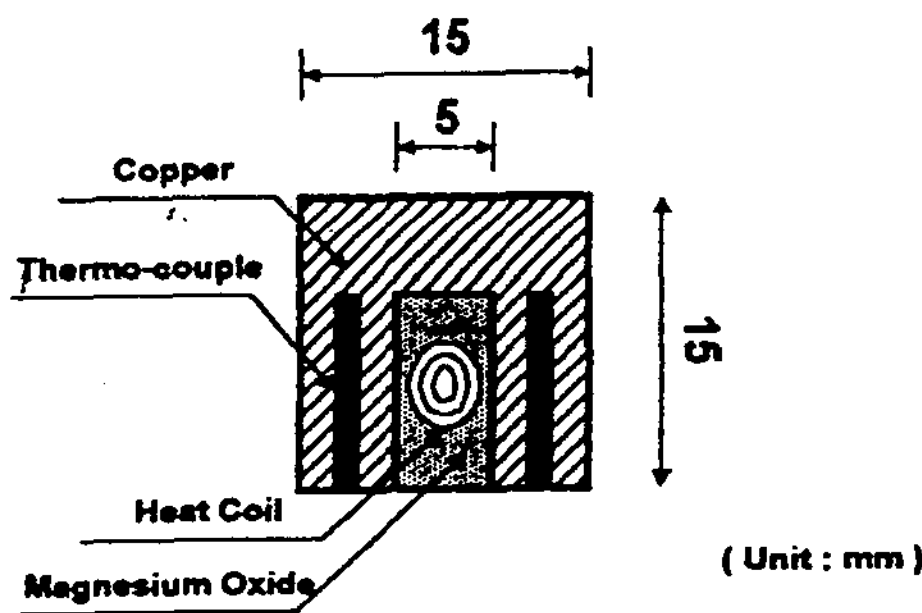


Fig.2 Dimension of Heat Source

Table 1 Velocity of Hot wire Anemometer

Volt open	8 Volt (m/sec)	9 Volt (m/sec)
Close	1.1662	1.3773
1.0cm	0.6954	0.8675
1.5cm	0.4314	0.6456
2.0cm	0.3548	0.4504
2.5cm	0.2535	0.388
3.0cm	0.1837	0.2641
3.5cm	0.1115	0.1801
4.0cm	0.0587	0.1201

또한 강력한 레이저의 빛의 반사광에 의한 에러를 감소시킬 목적으로 카메라 촬영 방향과 레이저광의 조사면을 제외한 캐비티 벽면을 내부에서 검은 색의 코팅지를 부착하여 촬영된 영상의 계조치 구분을 용이하게 하였다. 유동장의 촬영은 8mm카메라(Sony, Model: Pro5000)를 이용하여 영상을 NTSC방식으로 저장하였다.

이 영상은 컴퓨터에서 처리 할 수 있는 디지털 영상으로 변환시켜 주는 PC용 이미지보드(Data Translation사 DT3155, 640x480 픽셀, B&W)에 입력하여 원시영상으로 변환된다. 화상을 입력할 때에 60Hz의 수직동기신호 보정필터(DT3155제공 소프트웨어)를 사용하여 화질을 개선하였다. 이 영상에서 유동장의 영역은 370셀 x 94픽셀이다. 촬영시의 수평면에 대한 회전각은 -0.292° 로 아핀변환에 의해 우측상부를 중심으로 회전시켜 보정하였다. 그리고 유동정보만을 분리하기 위하여 촬영된 500프레임의 최초화상에 대하여 산술 평균한 화상을 계측하고자하는 영상에 감산한 후 동일입자 추적을 행하였다.

속도벡터의 추출 알고리즘으로서 두 프레임의 연속된 비디오영상의 계조치를 이용하여 최대 상호상관계수를 탐색하는 기법을 이용하였다.

속도벡터의 격자수는 40×120 으로 하였으며 상관계수를 구하기 위한 탐색영역의 반경은 12 픽셀이며 상관영역의 크기는 65픽셀이다. 한가지의 순시 유동장에 대하여 처리 시간은 펜티엄기종(CPU 90MHz)에서 약 10분이 소요되었다. 시간평균의 속도벡터를 얻기 위해서는 일정 시간 간격으로 저장된 연속된 100개의 영상을 순차 일괄처리하여 산술 평균하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

측정영역은 435mm의 전체유동장 중 하부에서 70mm상부에서 높이 180mm에 해당한다. Hi-8mm카메라에 기록된 유동장의 연속화면을 관찰해 보면 유동패턴은 크게 세 가지 형태로 구분된다. 첫째로 주유동은 거의 균일하게 입구에서 출구 측으로 빠져나가고 발열체 상부에서 유로가 좁아진 만큼 유속이 30%정도 상승되었다. 두 번째로 발열체의 전면과 후면이다. 이 영역에서는 유입유동의 흐름에 발열체가 장애물로 작용하여 첫 번째의 발열체에 근접하여 제2의 와류가 형성되고 있으며 3번째의 발열체 후면에서는 덕트의 급확대유동과 유사한 경향을 보이고 있다. 세 번째로는 발열체사이의 유동이다. 유동의 형태는 채널캐비티에서의 유동과 유사하고 우측의 주 유동과 내부에서 순환하는 흐름이 나타나고 있다. 이와 같이 유로가 전체적으로 복잡한 만큼 여러 가지 다양한 형태의 유동이 발열체주위에서 보이고 있다.

그림3은 $Re=760$ 의 경우에 유동장의 전체를 임의의 순간에 동시다점 측정한 전체유동장의 순간속도벡터의 분포중 임의의 100개 중 2개를 보이고 있다. 상부의 기준속도의 크기는 실제 속도값이고 유차원의 영역에 대하여 기준속도에 비례하여 속도벡터를 도시하였다. 발열체의 전면과 후면에서는 발달되는 와류가 나타나고 있으며 순시의 속도분포인 만큼 두가지 경우에서 3차원성의 경향이 있는 위치가 각각 다르나 첫 번째와 두번째발열체 사이에서는 공통적으로 보이고 있다. 두가지 경우 모두 주유동은 거의 균일하게 하부에서 상부로 빠져나가고 있음을 알

수 있고 발열체 주위의 유동, 특히 발열체 사이의 유동은 재 순환되는 와류를 포함하여 상당히 복잡한 유동의 형태를 보이고 있다. 여기에 관해서는 차후에 각 영역을 구분하여 보다 면밀한 측정이 요구된다.

그림4는 순시데이터를 이용하여 수평 및 수직 속도성분을 각각 캐비티를 7등분한 선상에서 속도벡터의 수직성분만을 표시한 결과이다. 속도 분포의 형상을 보면 (a)그림의 발열체사이와 (b)그림에서의 우측하부 벽면근처에서 변곡점을 다수 갖는 매우 불규칙한 특성을 나타내고 있다. 순간속도의 분포이나 이것은 경계층에서 나타나는 박리현상에서 처럼 유동장의 불안정성을 초래하는 기본적인 요인이다. 특이한 것은 그림 (a)와 (b)는 유입부의 속도분포와 큰 차이를 보이고 있다. 그중 이것은 유동장의 수직속도성분만을 표시한 것으로서 첫 번째 단면에서 유동의 순간적인 패턴이 매우 다양함을 알 수 있다. 이는 첫 번째발열체가 장애물로 작용하는 것과 3차원적인 흐름의 영향으로 보여진다.

그림5는 시간 평균의 유동 특성을 알아보기 위하여 일정한 시간 간격으로 샘플링한 100회의 순시 속도 벡터를 산술 평균하여 속도벡터와 수직속도성분을 각각 나타낸 결과이다. 전체적으로 순시속도분포와 유사한 경향을 보이고 있으며 출구 측으로 진행하면서 발열체의 영향으로 속도가 조금씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 출구측 중앙부분의 속도는 0.3m/sec 전후이며 이는 열선유속계로 측정한 결과와 거의 일치하고 있다.

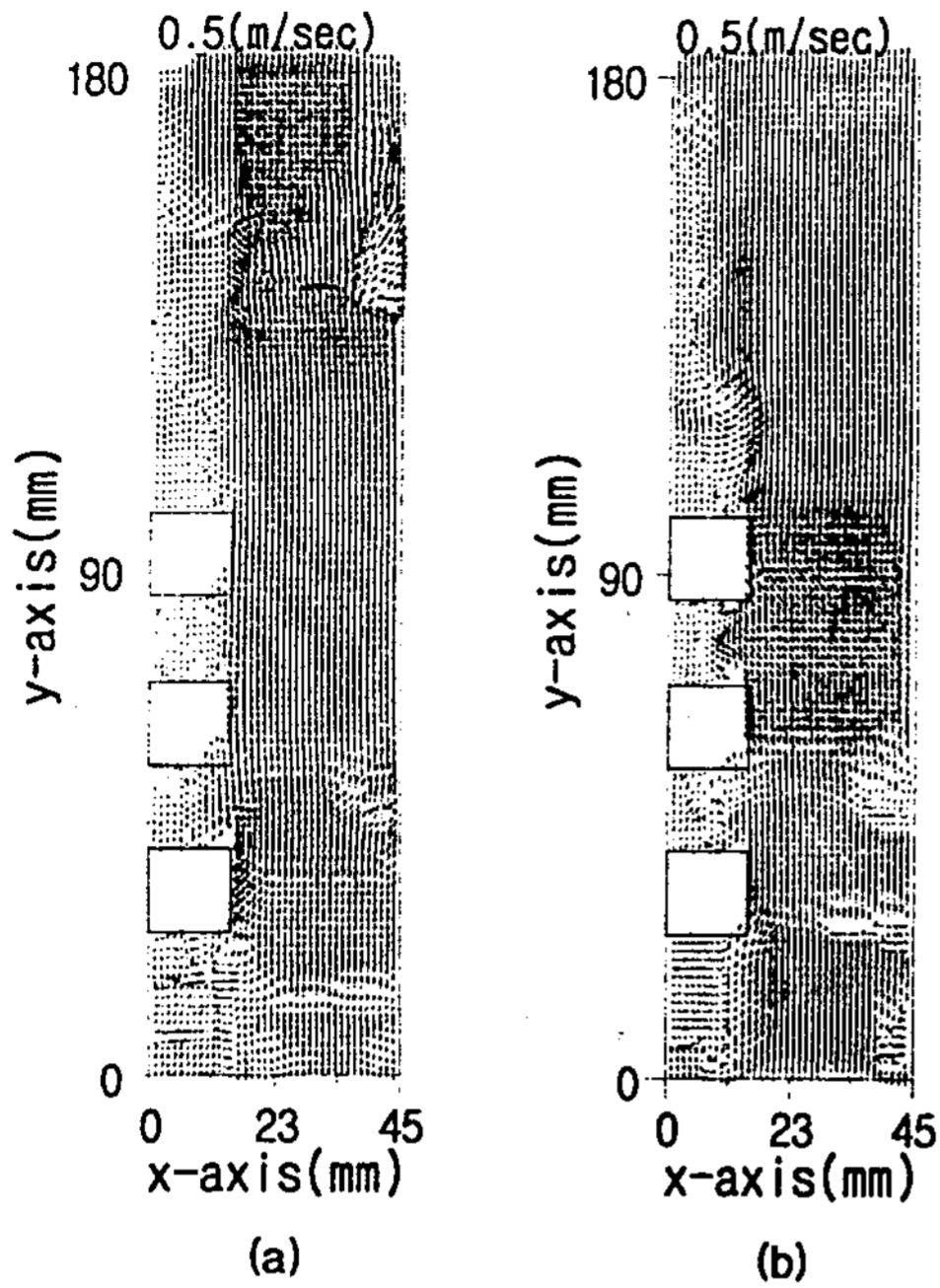


Fig.3 Instantaneous Velocity Distribution

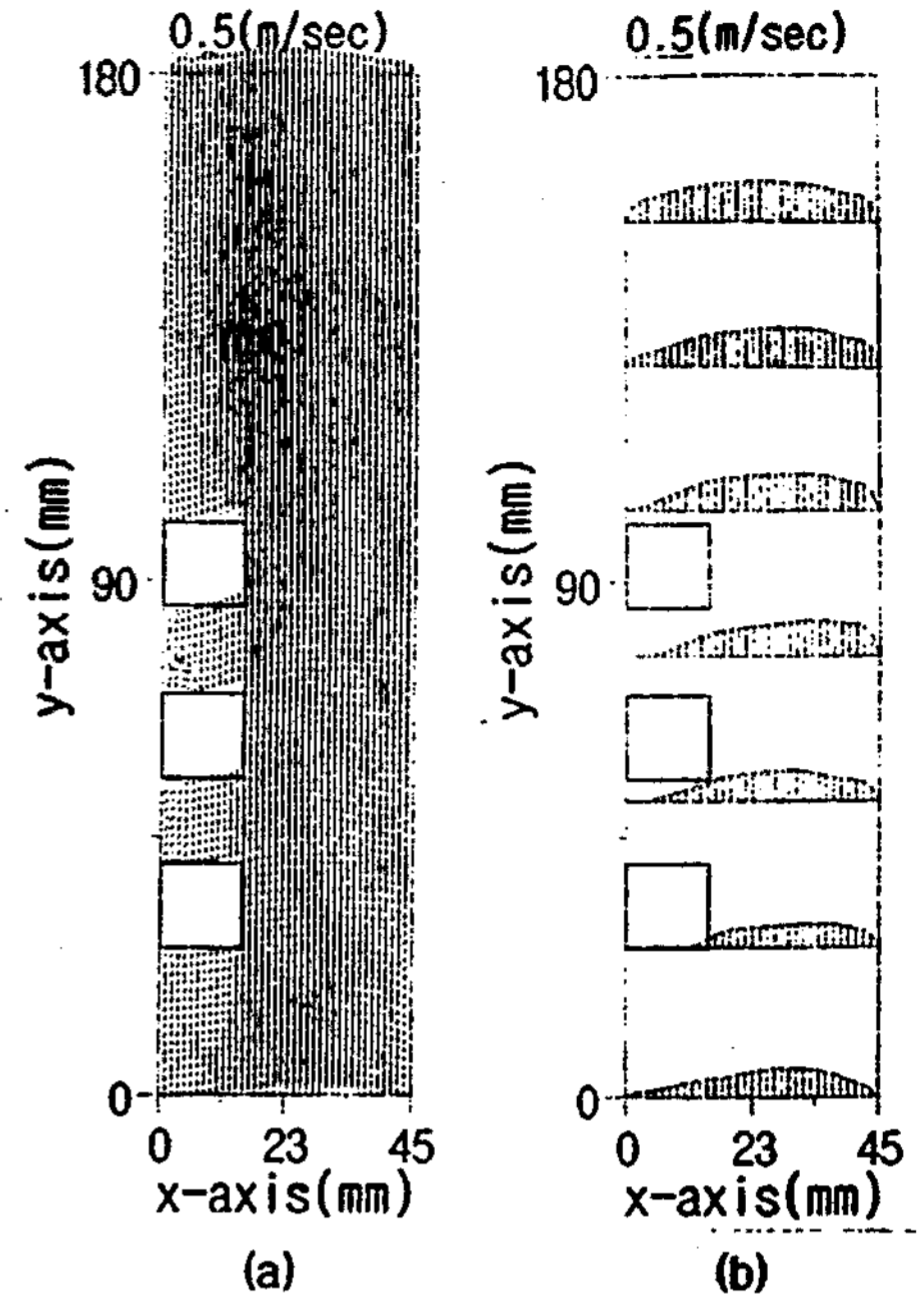


Fig.5 Time-mean Velocity Distribution and Profiles at Various Sections

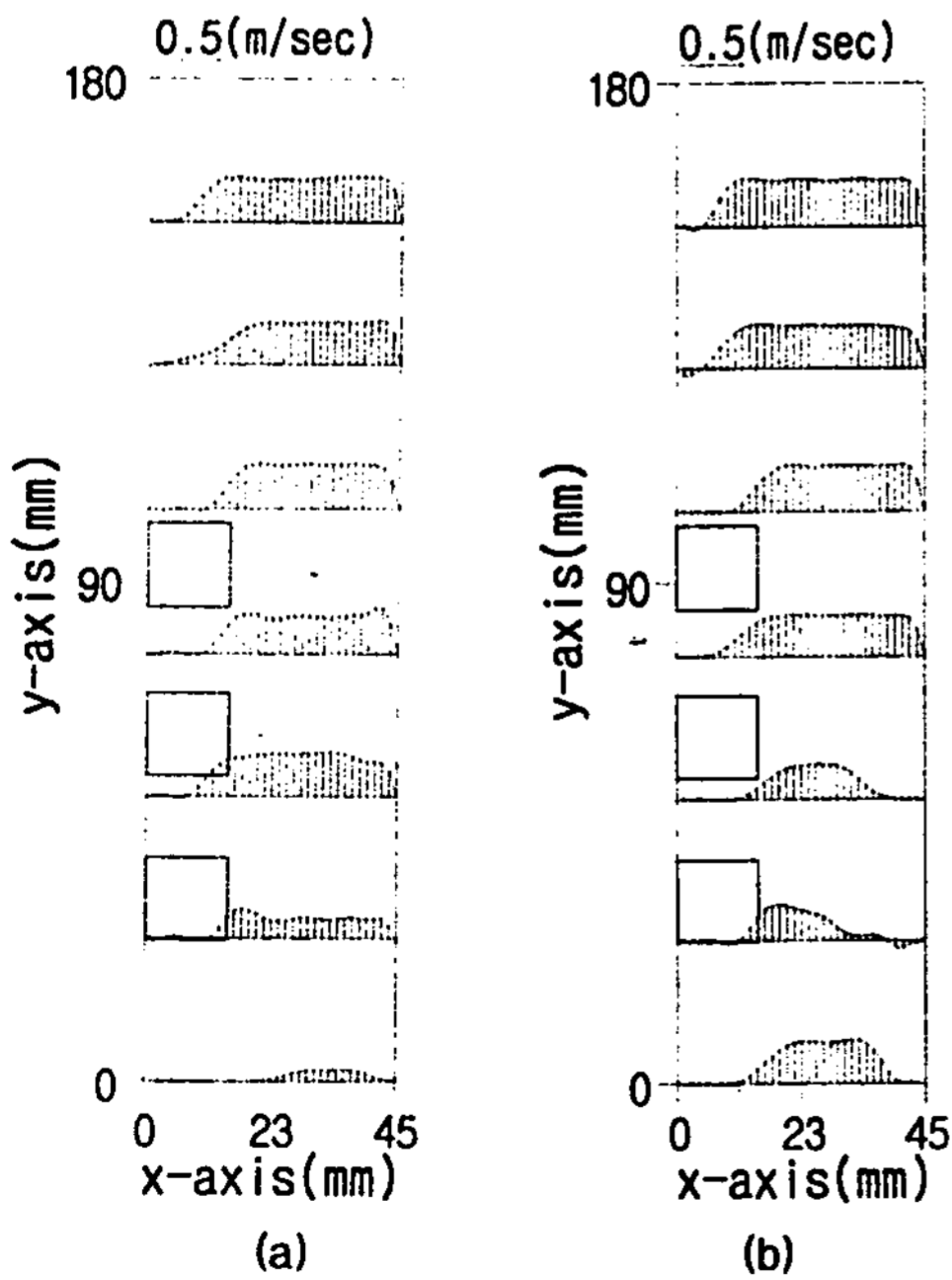


Fig.4 Instantaneous Velocity Profiles at various Sections

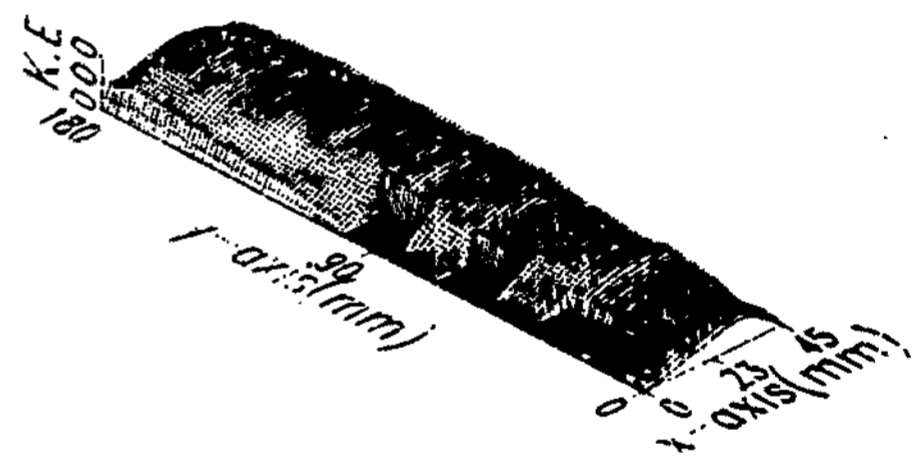


Fig.6 Distribution of Time-mean Kinetic Energy

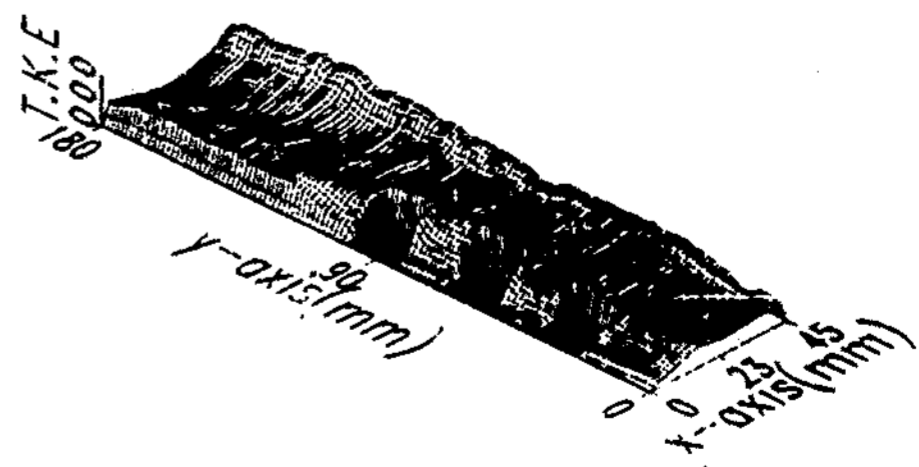


Fig.7 Distribution of Time-mean Turbulent Kinetic Energy

그림6은 순시속도벡터로부터 각 위치에서의 운동에너지를 구하여 3차원적으로 도시한 것이다. 발열체의 영향으로 입구에서 출구 측으로 진행하면서 증가해 가는 운동에너지의 전체적인 분배구조를 잘 보여주고 있다.

그림7은 시간평균에 대한 난류운동에너지의 공간 분포이다. 중앙부분은 대체로 평탄한 구조를 보이고 있고 발열체 주위와 출구 측으로 진행하면서 증가하는 경향을 보이고 있다. 시간평균의 결과에 대해서는 보다 많은 수의 영상에 대한 처리와 여러 단면에 거쳐 일관된 계측을 통한 연구가 필요하다

4. 결론

정방향 발열체를 갖는 수직채널내부의 공기유동에 대하여 레이저를 광원으로 하는 가시화 실험을 행하고 PIV에 의해 전 유동장의 속도를 계측하였다.

그 결과 주유동은 수직채널 하부에서 유입되어 상부로 거의 균일하게 유출되었고 출구에서의 PIV계측결과는 열선유속계의 결과와 일치하였으며 순시속도벡터의 분포에서는 3차원성이 일부 나타났다. 또한 발열체사이의 캐비티내부를 주유동으로부터 전단응력을 공급받아 내부를 순환하는 와류가 나타났으며 3개의 연속된 발열체를 통과하면서 속도 및 운동에너지가 증가하는 경향을 보였다.

후기: 실험장치 제작 및 데이터 정리에 수고를 해준 연구실의 김명규군 과 동명전문대의 한종석군 등에게 고마움을 표합니다.

5. 참고문헌

1. 백창인, 이관수, 김우승, 대한기계학회논문집, "제네틱 알고리즘을이용한 PCB채널 내 칩배열의 열적최적화", 제21권 제3호, 1997, pp.405-413
2. 박찬우, 장승일, 남평우, 정종수, 대한기계학회논문집, "난 류 발생기의 형상에 따른 수직PCB 채널에서의 열전달 및 압력손실 변화", 제20권 제7호, 1996, pp.2277-2288
3. C. K. Aidun, N. G. Triantafillopoulos, J. D. Benson, "Global Stability of a Lid-driven Cavity Through flow visuaization studies", Pys. Fluids A 3 (9), 1991, pp.141-151
4. Y.H.Lee, C.S.Kim, D.H.Cho, J. W.Choi, "PIV measurement of cuvic cavity driven by 2-D plane poiseuille flow", Proc. of the Third JSME-KSME Fluids Eng. Conf., 1994, pp.335-340.
5. 최장운, 이영호, 대한기계학회 춘계학술대회, 논문집(II), "PIV에서의 계조치 상호상관법의 개발", 1995, pp.1146-1162.
6. 이영호, 대한기계학회지, "PIV의 분류 및 원리", 1996, 제36권 제12호, pp.49-56.

PIV Measurement of Airflow in a Vertical Channel With Square Heat Source

S. T. Bae*, D. K. Kim**, S. P. Kim**, D. H. Cho***, Y.H. Lee***

* *Dong-Myung Coll*

** *Dong-A Univ*

*** *Korea Maritime Univ*

Abstract

An experimental study was carried out in a vertical channel with square heat source by visualization equipment with laser apparatus. The image processing system consists of one commercial image board slit into a personal computer and 2-dimensional sheet light by Argon-Ion Laser with cylindrical lens and flow picture recording system. Instant simultaneous velocity vectors at whole field were measured by 2-D PIV system which adopted two-frame grey-level cross correlation algorithm. Heat source was uniform heat flux(5W). The obtained results show various flow patterns such as the kinetic energy distribution and the turbulent kinetic energy distribution.