[UCI]I804:24011-200000233886

2007年 2月
碩 士 學 位 論 文

Sirocco－Fan에 의한 Desktop Personal Computer 內附의 速度分布 特性에 관한 硏究

朝鮮大學校 大學院
機 械 工 學 科
金 建 佚

Sirocco－Fan에 의한 Desktop Personal Computer 內附의 速度分布 特性에 관한 研究

A study on the Velocity profile in desktop Personal Computer of the Sirocco － Fan

2006 年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 建 佚

Sirocco－Fan에 의한 Desktop Personal Computer 內附의 速度分布 特性에 관한 硏究

指導敎授 : 李 行 男

이 論文을 工學碩士 學位 論文으로 提出함

2006 年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 建 佚

金　建　佚의 碩士學位 論文을

認准함

委員長　朝鮮大學校　敎授　朴 吉 文　　㊞

委　員　朝鮮大學校　敎授　牟 洋 佑　　㊞

委　員　朝鮮大學校　敎授　李 行 男　　㊞

2006年　11月　　日

朝鮮大學校 大學院

目　次

LIST OF FIGURES ····· iii
LIST OF PHOTOS ····· iv
LIST OF TABLES ····· iv
NOMENCLATURE ····· v
ABSTRACT ····· viii

第 1 章　序　論 ····· 1
第 1 節 研究의 背景과 動向 ····· 1
第 2 節 研究의 目的 ····· 5

第 2 章　理論的　背景 ····· 7
第 1 節 PIV의 理論的 背景 및 速度計算 algorithm ····· 7
1. PIV의 理論的 背景 ····· 7
2. 速度計算 algorithm ····· 14
가. Particle Tracking Method ····· 15
나. Grey Level Cross Correlation Method ····· 15
다. 1-Frame Method ····· 16
라. 2-Frame Method ····· 18

第 3 章 實 驗 ····· 21
第 1 節 實驗 裝置 ····· 21
1. Experiment Duct ····· 21
2. 各 裝置들의 諸元 ····· 22
3. Particle Image Velocimetry ····· 24
第 2 節 實驗方法 및 計測 ····· 26
1. PIV 計測 ····· 26

第 4 章 結果 및 考察 ····· 30
第 1 節 速度分布 ····· 30
第 2 節 Re-Stress 分布 ····· 34
第 3 節 運動 Energy 分布 ····· 38

第 5 章 結 論 ····· 42
REFERENCES ····· 43

감사의 글

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Pulse control of the AOM ····· 13
Fig. 2 Flow chart of the PIV classification ····· 14
Fig. 3 Flow chart of the 1-frame method ····· 17
Fig. 4 Velocity vector calculated from a displacement of a small sub-region and known time Δt ····· 18
Fig. 5 Principle of the grey level cross correlation ····· 20
Fig. 6 Maximum cross correlation coefficient. ····· 20
Fig. 7 Experiment Duct ····· 21
Fig. 8 Schematic diagram of the PIV system ····· 25
Fig. 9 Velocity Distributions by Sirocco-Fan On ····· 33
Fig. 10 Re-Stress by Sirocco-Fan On ····· 37
Fig. 11 Averaged T.K.E by Sirocco-Fan On ····· 41

LIST OF PHOTOS

Photo. 1 Experimental equipments of PIV and test duct ····· 28
Photo. 2 Date acquisition and processing system of PIV ····· 28
Photo. 3 FAN 1,2 and Sirocco-Fan ON PIV Experiment ····· 29
Photo. 4 Velocity Distributions by Sirocco-Fan On ····· 31
Photo. 5 Re-Stress by Sirocco-Fan On ····· 35
Photo. 6 Averged T.K.E by Sirocco-Fan ON ····· 39

LIST OF TABLES

Table. 1 In, Out, CPU Fan Specification ····· 22
Table. 2 Sirocco Fan Specification ····· 23
Table. 3 Specification of PIV system ····· 27

NOMENCLATURE

Symbols

A : Cross-sectional area [㎜]

a : Duct half-width [㎜]

b : Duct half-height [㎜]

C : Pressure drop coefficient in the fully developed flow region

C_{fg} : Correlation coefficient

D : Pipe diameter [㎜]

D_{eff} : Equivalent effective diameter [㎜]

D_h : Hydraulic diameter $(=4ab/(a+b))$ [㎜]

$f(i, j)$: Grey level in the 1st frame

$\bar{f}$: Average grey level in the 1st frame

g : Gravitation constant [m/s^2]

$g(i, j)$: Grey level in the 2nd frame

$\bar{g}$: Average grey level in the 2nd frame

$\triangle H$: Manometer height difference [㎜]

$i\ j\ k$: Unit vector along x, y and z-axis, respectively

K : Incremental pressure drop coefficient in the entrance region

l : Length of the test section [㎜]

L_e : Exit length [㎜]

M : Magnification factor

P : Wetted perimeter [㎜]

ΔP : Pressure difference [N/m^2]

R : Radius of curvature [㎜]

Re : Reynolds number of steady flow [$= D_h \cdot u_m / \upsilon$]

t : Time [s]

u, v, w : Velocity components in x, y and z-axis, respectively [㎧]

u_m : Cross-sectional mean velocity of laminar flow [㎧]

x, y, z : Rectangular coordinates of the test section

Greek Symbols

α : Orifice discharge coefficient

γ_{al} : Specific weight of alcohol [kg/m^2·s^2]

γ_{air} : Specific weight of air [kg/m^2·s^2]

λ : Pipe friction coefficient

$\bar{\lambda}$: Aspect ratio of a rectangular duct

μ : Coefficient of viscosity [N·s/m^2]

ν : Coefficient of kinematic viscosity [m^2/s]

ρ : Density [kg/m^3]

τ : Shear stress [N/m^2]

Subscripts

cl : Value on duct center-line

cr : Critical value

m : Cross-sectional mean value

st : Steady flow

* : Dimensionless quantity

ABSTRACT

A Study on the Velocity Profile in Desktop Personal Computer of Sirocco-Fan

Kim, Geon-Il
Advisor : Prof. Lee, Haeng-Nam
Dept. of Mechanical Engineering
Graduate School of Chosun University

Rapid development of CPU integrated circuit has brought rapid increase of electronic equipment quality including computers. Developed technology that to integrate CPU chips on printed circuit board has brought acceleration of micro and higher-density electronic systems. In particular, Desktop Personal Computer needs increased power consumption of CUP and PC is getting thinner. Therefore, heat design of PC has been considered as a worse condition. PC inside is air-conditioned with a use of radiator grille, heat pipe and Fan.

Due to intensive development of CPU, more heat are producing in CPU and inside the PC case. So a technology to discharge the heat outside the case efficiently is required. This study analyses axis-direction velocity distribution, 2nd flowing distribution, shearing stress distribution, pressure distribution, and kinetic energy distribution occurring inside the PC case, changing Slot factors in respect to installation of air inflow and discharge Fan, Sirocco-Fan which discharges air in PC, and peripheral devices

and presents information on design of PC cases.

It is to study flowing characteristics inside the desktop personal computers with a use of PIV test. Under the condition that inhalation and discharge Fans are operated, particles of ZnO(tracing particles) are diffused into the mouth of the duct to measure the characteristics. The results of the test are summarized as follows.

(1) Many vectors are distributed in right middle of the case because of Sirocco-Fan installed in discharge direction. It has a great influence on discharge of inside flowing in PC .

(2) In left top which is not directly influenced by inhalation and discharge Fans installed inside the PC, flowing occurs because of pressure differences of Sirocco-Fan installed in the right center.

(3) Flowing occurs more definitely in bottom of the case when Sirocco-Fan is operated compared to when it is not operated. However, when the Sirocco-Fan is operated in discharge direction, more parasites between Slots and inhalation Fans are found. It is thought that it is influenced by the sirocco-Fan while fluid inhaled from inhalation Fan flows to the discharge Fan.

第 1 章　序　論

第 1 節 硏究의 背景과 動向

최근 CPU칩에 회로를 집적하는 기술의 비약적인 발달은 컴퓨터를 비롯한 전자기기의 성능을 급격하게 증가시키고 있다. CPU칩을 인쇄회로기판(PCB: printed circuit board)에 신장하는 기술의 발달은 전자시스템의 소형화 및 고밀도를 더욱더 가속화시키고 있다. 특히 Desktop PC의 경우에 있어서 CPU의 소비 전력이 증가하고 있고, PC의 두께는 점점 얇아지고 있는 추세이다. 이로 인해 PC내부의 열설계 측면에서는 더욱더 열악한 조건으로 되고 있다. 현재 PC내부의 냉각방법은 방열판, Heat pipe, 팬을 사용한 공냉방식이 주를 이루고 있다. 그러나 Desktop Personal Computer의 크기가 점점 작아지고 있고 CPU의 집약기술의 발달로 인해 CPU 및 PC 케이스 내부에 발생되는 열은 더욱 많아지고 있고 PC 케이스 외부로 효율적으로 방출시키는 기술이 필요하게 되었다.

PC 케이스의 설계 또는 성능향상을 위한 제반 과정 중 가장 기본적인 것은 수반하는 유동장의 거동을 파악하는 일이다. 이 경우에 눈에 잘 보이지 않는 흐름 중에 추적 입자를 넣고 적당한 조명을 가한 뒤에 카메라 등으로 순서 또는 시간평균의 유동장을 기록하여 유체역학적인 특성을 고찰하는 작업을 가시화(Visualization)라고 부른다. 가시화영상에는 정성적인 정보 이상의 유용한 정보가 포함되어 있다. 가시화 영상으로부터 정량적인 정보를 추출할 수 있다면 유체의 유동현상을 동반하는 제반 공학적 문제의 해결을 위하여 많은 기여를 할 수 있을 것이다. 이들에 관하여 많은 연구자들이 다양한 기법을 제시하여 왔으며 최근에는 발달된 영상매체의 기술에 힘입어 지금까지 원리적으로만 가능했던 기법들이 실

용 가능한 단계에 이르렀다. 특히 디지털 영상처리기법(Digital image processing)은 컴퓨터를 비롯한 관련 하드웨어의 비약적인 발전과 더불어 수많은 적용 사례를 보여 주 고 있다. 이와 같은 추이 속에서 유체의 기본 물리량을 동시다점으로 계측할 수 있는 입자영상유속계(Particle Image Velocimetry, PIV)[1~3] 가 최근 각광을 받고 있다. 최근 들어 측정기기의 고성능화에 따라 유동특성에 대한 PIV 기법이 개발되어 이루어지고 있는 많은 연구 가운데 몇 가지를 살펴보면 Lee[4] 는 PIV를 이용한 순간속도장 측정에 관한 기초연구를 행하였고, Lee[5] 는 사각공동 내 자연대류유동에 대한 수치해석 및 삼단계추적법을 이용한 PIV 알고리즘에 의한 실험적 연구를 행하였다. Min[6]은 PIV 기법을 이용하여 파형 벽면을 가지는 내부 유동의 특성에 대해서 실험적으로 규명하였으며 Lee[7] 는 단순물체의 후류에 대해서 이미지 영상기법을 사용하여 연구하였다. Yun[8]은 곡관 후류에 연결된 직관에서 PIV를 이용하여 속도분포, 운동에너지 및 전단응력에 대해서 연구하였고 Kim[9]은 혈액 유동장에 대한우레탄 인공 판막에 적용하여 인공판막 하류에서와 같이 난류 경향이 강한 유동장의 구조를 파악하였고 전체적인 속도장과 함께 유동장의 전단응력 분포를 해석하여 혈전 및 용혈 현상의 발생을 예측할 수 있도록 하였다.

1960년대에 들어서면서 컴퓨터의 급속한 발달에 힘입어서 과거에는 이론적으로 해석할 수 없었던 복잡한 유체유동해석이 수치 해석적으로 가능하게 되었다. 특히 지난 십 수 년 내의 컴퓨터의 발달은 매우 눈부시게 성장하여, 수년전 까지만 해도 계산기의 용량제한 및 계산속도의 제한이 커다란 문제가 되었다. 현재는 소형 컴퓨터로도 복잡한 유체유동 해석의 처리가 가능하게 되었다. 최근 진보가 매우 빠른 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)분야 에서 슈퍼컴퓨터를 이용한 유동 해석은 그 산물이라고 할 수 있다. 이와 같은 하드웨어의 진보와 함께 수치해석방법도 진보를 거듭하여, 복잡한 유체유동 현상을 해석할 수 있는 범용프로그램들이 외국에서 이미 개발되어 시판되고 있다, 현재 국내의

연구소, 대학 및 기업체 등에서도 이들 프로그램들을 도입하여 공학 분야에서 많은 시간과 비용이 소요되는 실험에 의지하지 않고는 측정할 수 없었던 물리적 현상을 예측하고, 실험에 의해서 측정하기 어려운 복잡한 형상 내에서의 유체유동을 해석하는 데 널리 사용되고 있다.

한편 최근 들어 활발한 연구가 이루어지고 있는 CFD를 이용한 연구를 살펴보면 Kim[10)]은 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 고속 비행체의 최적 설계에 대해서 연구하였다, Jang[11)]은 선박용 프로펠러와 선체의 상호간섭에 대해 연구하였으며 설비분야에 적용된 연구들로 Min[12)]은 사각실린 더 주위의 유동을 제어함에 따라 표면에 미치는 압력 분포의 형태를 연구하였다. Lee[13)]는 이차원 입·출구를 갖는 직육면체 공간내로 평행 유동 유입 시 형성되는 유동장에 대한 특성에 대해서 연구하였다, Yang[14)]은 유한체적법과 SIMPLER 알고리즘을 이용하여 닥트 내부 유동장에서 속도와 압력을 해석하였다. PIV계측과 CFD해석을 통해 비교한 연구로 Lee[15~17)]는 분기 사각닥트 내부에서 PIV와 CFD를 이용하여 분지부에서의 축방향속도와 2차유동분포를 측정하여 층류 정상유동의 이론해와 PIV 계측 실험 결과로부터 얻어진 속도 분포, 운동에너지 및 와류분포 등의 유동 특성에 대해서 연구하였다.

이러한 각종 연구를 크게 구분하여 보면 이론적 해석(Theoretical analysis), 수치해석(Numerical analysis) 및 실험적 연구(Experimental study)로 나눌 수 있다. 이론적인 연구방법으로서 관성항을 선형화시켜 해석하는 방법, 급수전개에 의한 해석방법과 CFD를 이용하여 운동량 방정식을 유한체적법에 의하여 수치해석 하는 방법으로 구분할 수 있다. 실험적인 방법으로는 정압피토관을 이용하여 속도와 압력분포를 측정하는 방법, 열선유속계를 이용하여 속도분포를 측정하는 방법, LDV를 이용하여 속도분포를 측정하는 방법과 염료 및 PIV를 이용한 유동가시화에 의 한 속도벡터 해석방법 등이 있다.

유체유동을 가시화하기 위한 실험 및 컴퓨터 시뮬레이션 연구가 최근

각광받고 있는 가운데, 유체유동속도를 실험적으로 계측하기 위한 장치로서 기존의 열선유속계(HWA)와 레이저도플러유속계(LDV) 이후 등장한 것이 입자영상유속계(PIV)이다. 입자영상유속계를 이용한 유동가시화 기법은 3차원 측정 및 컬러 영상처리가 가능한 기술들이 개발되고 있으며, 최근에는 정도 및 해상도를 향상시켜 입자영상유속계를 이용할 수 있는 응용범위를 확대하고 있다. 닥트 내 유동현상에 대한 가장 믿을 수 있는 정보는 시험적인 물리량의 측정을 통하여 얻을 수 있지만 실험장치의 제약과 측정상의 어려움, 실험에 따른 많은 비용부담 등으로 인하여 실험은 제한된 경우에 한하여 수행하고 있다. 수치해석으로 유동문제를 해석하는 방법은 실제현상을 수학적으로 모델화 한지방정식을 풀이하는 것이므로, 유동현상을 관찰하는 실험적 연구와 비교하여 타당성과 정확성이 검증될 때 해석결과의 유용성을 인정받게 된다.

최근의 연구 동향을 조사해보면 1개의 모듈에 대한 유체유동 및 강제대류 열전달에 관한 연구는 문헌에 많이 보고되었다. 평행평판 채널벽면에 부착된 단일 모듈에 대한 열전달 특성을 실험적으로 수행하였다. Roller 등은 단일 발열체에 대한 유체유동 및 열전달 특성을 연구하였다. Rosten 등, Behnia 은 CFD 시뮬레이션을 이용하여 모듈 주위의 3차원 난류유동 및 열전달 특성을 연구하였다. 최근에 Nakamura은 난류경계층 내에 놓인 정방형 발열체 주위의 유체유동과 국소열전달 특성을 실험적으로 연구하였다. 이 연구들을 검토해보면 유체유동을 완전 발달된 유동으로 가정하여 모듈로부터 공기로의 대류열전달을 연구하였다. PC 케이스 내부로 공기를 유입 및 방출시키는 Fan, CPU의 냉각시키는 Fan 각 회로기판이 설치되는 Slot의 가변적인 요소를 변화시켜가면서 PC케이스 내부의 Re-stress분포, 속도벡터분포, 운동에너지분포 등의 실험결과를 수행하였다.

第 2 節 硏究의 目的

본 연구의 목적은 PC 케이스의 설계 시 PC케이스 내부에 발생되는 유동현상을 파악하여 CPU의 냉각효율과 케이스 내외부로 흡입·방출되는 유동현상을 규명하는데 목적이 있다.

이를 위해서 밀폐된 사각닥트 내에서 유동에 대한 PIV계측에 사용된 지배방정식은 밀폐된 닥트 내의 유동에 대한 지배방정식을 유도한 후 비선형인 대류항을 Von-Kármán 적분법으로 선형화시켜서 속도분포식의 해를 구하였으며, 전산유체역학의 지배방적식인 연속방정식과 운동량방정식을 이산화 시켜 유체 유동해석에 많이 쓰이고 있는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하였다. 실험적인 방법으로는 흡입구에 부착된 서지탱크로부터 발생된 추적 입자를 PC케이스 내부로 흡입시키고 출구 후면에 닥트로 이동하는 유동특성을 PIV를 이용하여 실험적으로 규명하였다. PC 케이스 내·외부로 흡입 방출시키는 Fan 및 CPU를 냉각시키는 Fan 의 설계는 장치 전체의 냉각성능에 커다란 영향을 미치므로 정밀화, 고성능화, 규격화를 요구함에 따라 PC케이스 내부의 유동특성에 대한 연구의 필요성을 가진다.

본 연구는 PC케이스 내부의 유동현상이 각기 다른 축 방향으로 설치된 Fan에 의해 케이스 중앙부분에 소용돌이 형의 나선형운동을 하므로 공기의 흡입 방출이 효율이 떨어지며 소음이 발생한다, 주변기기를 장착하고 Slot의 부분에서는 공기가 Slot 하단과 케이스하단 사이에 나선형 운동을 하면서 정체되는 현상이 발생한다. 이러한 현상의 PC케이스의 실용적인 측면이나 학문적인 면에서 어떠한 유동특성을 나타낼 것인가는 유체공학을 연구하는 사람에게는 많은 관심이 집중되고 있다.

PC 케이스 내부로 공기를 유입 및 방출시키는 Fan, CPU를 냉각시키는 Fan, 주변기기(회로기관) 이 설치되는 Slot에게 요소를 변화시켜가면서

PC 케이스 내부에 발생되는 Re-stress분포, 속도벡터분포, 운동에너지분포 등에 관한 연구는 일반 Desktop Personal Computer 뿐만 아니라 노트북, 워크스테이션, 서버 및 기타 고밀도직접회로(Large Scale Integrated -LSI)가 사용되는 모든 케이스 설계의 효율 및 성능의 향상에 많은 도움이 될 것이다.

第 2 章　理論的 背景

第 1 節 PIV의 理論的 背景 및 速度計算 algorithm

1. PIV의 理論的 背景

PIV는 실험유체역학의 새로운 기법이며, 이는 유체의 유동속도를 측정하기 위해 유동가시화기법과 디지털 화상처리기법의 결합된 기법이다. 입자영상유속계를 이용한 유동가시화는 LDV나 열선유속계와 같은 유속계측방법과 비교하여 전체 유동장내의 유동특성을 정성적으로 쉽게 재현할 수 있고 동시다점계측이 가능한 장점을 가지고 있다. 최근 들어 컴퓨터와 화상처리기술의 발달로 인하여 입자영상유속계를 이용한 측정기법이 하루가 다르게 발전하고 있으며 그 응용범위도 점점 확대되고 있는 중이다.

PIV의 기본원리는 유동장내에 주입된 입자들의 운동을 추적하여 이들 입자들의 순간적인 위치를 미소시간 간격을 두고 영상을 입력하여 유체의 유동속도를 계산하는 기법이다. 이 기법의 장점은 추적 입자가 유동장내로 삽입됨으로 인한 유동교란이 없으며 순간적인 속도장을 획득할 수 있다는 것이다. 복잡한 유동이나 비정상유체유동을 효과적으로 연구할 수 있다. PIV는 정량적이고 정성적인 전체유동장내 공간적인 속도정보를 획득할 수 있으며, 이러한 정량적인 공간상의 속도정보로부터 유체역학적 특성들을 구할 수 있다.

속도벡터의 추출에 이용되는 입자의 종류가 개별입자인가 아니면 임의의 검사영역(Interrogation region)내의 입자군(중복되거나 독립적으로 존재함) 인가의 여부에 따라 PIV를 구분할 수 있다. 개별 입자를 독립적으로 인식하고 이들에 대하여 순서 또는 번지수를 부여하는 라벨링(labelling)작업과 함께 개별입자의 미소궤적을 추적하는 개별입자 추적(Discrete Partic

le Tracking, DPT) PIV [과거의 PTV(Particle Tracking Velocimetry)]와 검사 영역내의 입자군의 분포에 대한 상관관계로부터 속도벡터를 추출하는 입자분포상관(Particle Distribution Corre-lation, PDC) PIV로 대별할 수 있다. 이 경우에 DPT-PIV는 PTV와 같은 특성을 나타낸다. 임의로 분포된 위치에서의 랜덤벡터가 얻어지며 후처리과정에서 격자 보간이 필요하다. 그러나 PDC-PIV에서는 처음부터 정의된 격자점의 위치에서 속도벡터가 구해지기 때문에 격자간 보간이 필요 없게 된다. 또한 PDC-PIV에서는 원리적으로 검사영역내의 개별입자의 도심 좌표에 대해서도 상관계수를 구할 수가 있기 때문에 DPT-PIV용의 개별입자 영상이 사용될 수가 있다. 일반적으로 두 기법의 장단점을 비교해 보면 다음과 같다. 먼저 DPT-PIV는 개별입자의 자동 인식작업에 약간의 계산시간이 필요하나 동일입자의 추적 알고리즘은 비교적 간단한 연산과정을 요한다. 전체적인 작업시간이 매우 단축될 수가 있다. 미소시간 동안의 유동장의 변형에 대하여 비교적 둔감한 성질을 나타내기 때문에 이상치의 발생이 억제된다. 유동장 전체에 걸쳐 추적 입자가 독립적으로 균일하게 분포하여야 하며 양호한 산란광의 영상을 제공하여야 한다. 이것은 조명을 비롯한 실험환경 및 실험기법에 크게 의존하게 되며 일반적으로 한 장의 화면에서 얻을 수 있는 유효벡터의 수가 많지 않게 된다.

한편 PDC-PIV에서는 Adrian[18]의 고영상밀도 PIV방식을 제외하고는 스페클(LSV) 또는 픽셀 계조치의 밝기정보(Intensity, Grey-level)를 이용[계조치 상호상관법 등]하기 때문에 유동장에 분포된 입자가 개별적으로 인식이 되지 않아도 문제가 되지 않는다. 입자에 대한 제한조건이 크게 완화되어 유동장의 생성이 비교적 용이하게 이루어진다. 얻어지는 벡터 수는 검사영역의 격자수로 정해지므로 많은 수의 벡터가 얻어질 수 있다. 그러나 이 방식에서는 상관함수(계수)의 산출에 번거로운 광학적인 배치가 필요하거나 FFT(Fast Fourier Transform)연산, 상관계수의 계산에 매우 큰 컴퓨터 부하를 요구한다. 한편 유동장의 변형에 대하여 상관함수의 최고치가

민감하게 변함으로서 이상치의 발생에 주의를 하여야 한다. 요약하면 DPT-PIV에서는 PIV에 적합한 입자의 공급 및 조명 등의 문제에 유의하여야 하나 대신 속도벡터 추출에 필요한 컴퓨터 연산속도가 빠르다. 그러나 PDC-PIV에서는 이와 반대로 유동장의 입자조건이 까다롭지 않은 반면 상관계수의 계산에 번거로운 작업이 요구된다.

조명부호 PIV 방법은 Adrian의 정의에 의한 저영상밀도 PIV(PTV)중 단일프레임(Single-frame)법을 의미한다. 한 장의 사진 또는 프레임에 조명을 부호화하여 벡터의 크기 및 벡터의 시점과 종점을 구하는 기법으로서 PTV의 초기에 많이 적용되었다. 펄스 조명의 폭 및 간격을 조정하여 연속펄스 또는 긴 유맥선(Streak) 입자영상을 기록한 뒤에 개별 입자의 궤적을 추적한다. 가장 기본적인 방법은 사진을 확대하여 디지타이저(Digitizer) 상에서 사람의 눈으로 구별하는 것이나 번거로운 작업이 필요하며 무엇보다 역류영역에서 벡터의 방향을 제대로 파악하는 것이 매우 어렵다. 벡터의 시점과 종점의 정확한 위치산정이 어려워 계측정도가 떨어진다. 한편 컴퓨터는 전용의 영상처리장치(Image processor) 또는 영상보드(Image grabber)로부터 이들 입자 궤적의 밝기 정보를 2차원의 위치(예를 들어 640×480 픽셀) 및 각 픽셀에서의 계조치(보통 256단계)의 값으로 데이터파일을 받아서 영상처리를 하게 된다. 보통 필터처리를 통한 노이즈제거 및 입자영상의 강조, 윤곽선의 검출, 세선화, 라벨링(Labelling), 도심좌표(Centroid)의 계산 등을 거쳐 적절한 추적알고리즘에 의해 벡터의 방향과 크기가 자동으로 계산된다. 이 방법에서 가장 어려운 점은 벡터의 시점 또는 종점을 알아내기 위하여 조명을 부호화하여 이를 해독하는 작업이다. 지금까지 여러 가지의 기법이 제안되고 있으며 Kobayashi[19]등은 카메라의 셔터가 개방되는 초기 시점에 스트로스코프(Stloscof)에 의한 짧은 조명 펄스를 첨가하여 벡터의 시점을 구별하는 기법을 제시하였다.

Grant[20] 등은 펄스태깅(pluse tagging)법을 적용하여 방향판별을 하고 있다. 조명부호법은 원리 및 관련 장치가 비교적 단순하여 쉽게 적용할 수가

있으나 일반적으로 조명이 시작하여 끝나는 시점까지의 시간 간격이 크다는 점이 제약이 될 수가 있다. 레이저의 2차원 시트광(sheet light)내에 입자가 계속 머물러야만 유효벡터가 산출될 수가 있으나 추적 입자가 주어진 미소 시간동안 2차원의 조명영역(In-plane)내에 머물지 않고 이 단면을 이탈하는 문제를 발생시키며 특히 고속의 3차원 유동장 해석에는 계측의 다이내믹 레인지가 크게 떨어질 수가 있다.

상호상관 PIV를 적용한 연구결과는 지금까지 다수 있으나 Willert와 Gharib[21)]가 이에 관하여 체계적으로 설명을 하고 있으며 특히 영상의 기록에 30㎐의 샘플링간격을 갖는 비디오 시스템을 채택하고 이를 DPIV로 명명하였다. 영상의 기록에 1초당 30프레임의 연속 저장이 가능한 비디오방식을 택하였기 때문에 이들 중 두 프레임을 선정하여 FFT연산에 의하여 상호상관함수(Cross Correlation Function, CCF)를 구하였다. 다음으로 Adrian[22)]등은 과거의 자기상관 방식에서 벗어나 연속된 사진영상을 CCD로 받아들여 CCF를 직접 계산하고자 하는 이론적 연구를 시도하였다. 현재시간 해상도면에서 상호상관 PIV에 가장 적합한 선택은 우선 고속도 비디오카메라가 자동으로 설정되며 단지 충분한 조명이 필요하다. 그러나 현재의 고속도비디오 카메라는 일반적으로 공간해상도가 낮으며 (최대 500×500 픽셀 수준) 풀사이즈에서 프레임수도 10오더에 머물고 있다. 이 때 얻을 수 있는 최대 계측속도는 10㎧전후라고 보인다. 다음으로 선택할 수 있는 것이 레이저의 연속광을 단속적으로 절단(Chopping)하여 짧은 펄스조명의 발생을 비디오의 동기신호와 연계시키는 방법이다.

Fig. 1은 AOM(Acoustic Optical Modulator, AOM)의 펄스제어를 나타낸 것으로서 비월주사방식(Interlace scanning)의 비디오프레임(Frame, 1/30sec)의 두 field(Odd와 Even field, 1/60sec)에 임의의 미소 펄스폭과 간격을 갖는 펄스광을 연속적으로 발광시켜서 유동장의 영상을 비디오 방식으로 저장하는 기법이다. 크게 기계적인 초퍼 (Mechanical chopper) 방식과 음향광의 회절원리를 이용한 음향광 조절기방식으로 대별할 수 있

다. 이 방식으로 고출력의 연속광 레이저와 고감도의 CCD카메라를 조합하면 약 100 ㎧까지의 속도계측이 가능하다.

PIV를 이용한 유동속도측정은 입자주입, 조명, 영상획득, 영상처리의 네 단계로 구성된다. 입자주입에서 유동을 추적하기 위한 추적 입자는 가능한 한 균질하게 유동장내에 분포되어야 하고, 반사율이 좋아야 하며 유동을 잘 추종해야 하며, 유체와 유동의 성질들을 변하지 않게 해야 하는 성질을 가져야 한다.

작동유체 및 계측속도의 범위에 따라서 입자를 선정하여야 하며, 입자와 작동유체의 밀도를 가능한 한 일치시켜 추종성(Traceability)을 확보하여야 한다. 저속액체의 경우에는 주변의 온도변화에 따른 입자의 미소한 밀도차이가 추종성에 큰 영향을 미칠 수 있으며 입자의 주입에 따른 이상유동특성 또는 초기교란상태를 억제하여야 한다. 입자 선택 시에는 유체흐름에 미치는 영향, 관측장에서의 부착성질, 산란광 강도, 인체에 미치는 유해성 등을 고려하여야 한다.

입자 선택 시 기체는 10㎛ 전후의 광란성이 우수한 미소입자를 사용하는 것이 좋으며, 작동유체의 상태에 따라 기체인 경우에는 액적, 기체, 분말 등을 액체(물의 경우)인 경우에는 나일론12, 폴리스티렌 구형입자(직경 10-100㎛ 전후), 알루미늄 분말 등의 입자를 사용할 수 있다. 실험체의 재질은 보통 투명한 아크릴 또는 유리관 등으로 구성되며 실험체가 곡면을 가지고 있다면 빛의 굴절률을 고려하여야 한다. 밀폐흐름에 있어서는 재현성을 갖춘 유동장의 확보가 필요하다.

조명은 2차원의 경우에는 평면광의 두께는 1~3㎜ 전후의 시트 라이트(Sheet Light)가 필요하고, 광원으로서는 2차원의 시트 라이트를 제공하기 위한 가시광 레이저(예를 들면, Ar-Ion 레이저)가 효과적이다. 레이저 대신 백색광원을 사용할 수도 있으나 발생 열에 의한 유동장의 변동을 억제시켜야 한다. 광원의 세기는 영상으로 추적 입자들을 선명하게 획득할 수 있는 강도를 가져야 한다. 저속액체[1.0㎧이하, 유동장의 크기 150×

150(㎜)]의 경우에는 500㎽ 전후의, 고속기체[10~40㎧, 유동장의 크기 150×150(㎜)]의 경우에는 5W 전후의 레이저를 사용할 수 있으나 저속 액체의 경우에는 광원용의 조명 열에 의해 자연대류의 영향이 매우 크므로 유의하여야 한다. 고속유동계측의 경우에는 미소시간간격을 확보하기 위하여 조명의 펄스제어가 필요하며 속도벡터의 추출알고리즘과 직접적인 관련이 있다. 조명방식은 PIV의 계측 범위를 결정하는 중요한 요소이며 현재 실용화 되어 있는 1-프레임 자기상관(1-frame Auto-correlation) 방식의 펄스 레이저조명에 의하여 400 ㎧의 고속기류까지 계측이 가능하다.

유동장내 입자들의 궤적은 고해상도 카메라에 의하여 영상으로 획득한다. 속도측정은 주어진 시간간격 ($\triangle t$)동안 움직인 유동입자들의 변위정보를 고속도카메라와 같은 영상입력장치를 이용하여 연속된 영상을 획득한다. 이때 카메라의 광축은 평면광에 수직하게 설치되어야 한다. 영상처리는 PIV측정에서 가장 중요한 과정이다. 먼저 입자운동을 기록한 영상은 디지털영상을 얻기 위해서 Image grabber로 보내진다. Image grabber를 이용하여 2차원 화상데이터를 저장한 후 디지털 영상처리기법을 이용하여 입자 변위를 계측한다. 영상입력장치로 입력된 영상은 전용의 영상처리장치 또는 컴퓨터에 내장된 이미지 보드에 기록·저장되며, 전처리 과정에서 영상 내 대상체와 배경의 경계 또는 윤곽선을 결정하는 경계탐색, 영상 이분화 작업, noise제거를 수행한다. 영상처리작업이 끝난 뒤 입자추적법을 적용하는 경우에는 각 입자들을 확인하여 입자의 도심을 구한 뒤 미소 시간동안의 입자의 변위를 계산하여 속도벡터를 구한다. 입자 또는 입자군(Particle cluster)이 갖고 있는 계조치에 대한 정보와 상관계수를 이용하여 속도벡터를 구하는 방법이 계조치상관법(Gray level correlation method)이다. 계조치상관법은 프레임의 수에 따라 단일 Frame Method과 다중 Frame Method으로 분류한다. 입자추적법과 계조치상관법에 관해서는 보다 개선된 프로그램의 개발을 위하여 많은 연구가 진행

되고 있다.

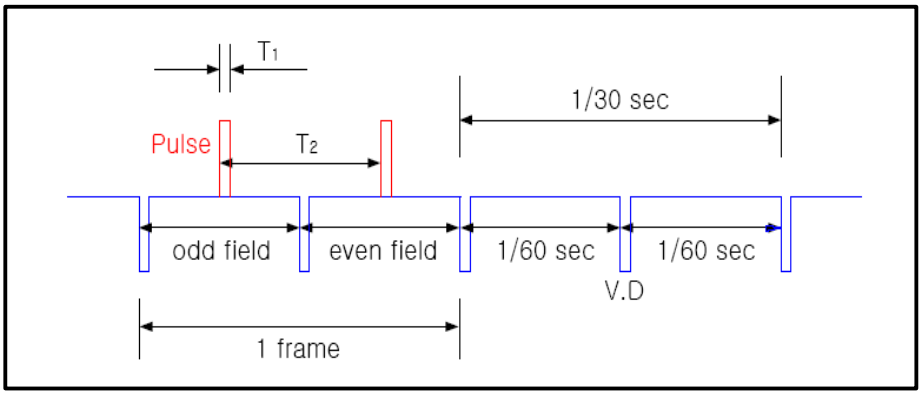


Fig. 1 Pulse control of the AOM

2. 速度計算 algorithm

입자영상유속계의 영상입력장치로 획득한 영상으로부터 processing과정을 거친 다음 영상처리과정에서 속도를 계산하기 위한 유속측정 알고리즘은 Fig. 2와 같이 입자추적법(Paticle tracking method)과 계조치상관(Grey level correlation)법으로 나눌 수 있다.

PIV시스템을 분류하는 방법은 여러 가지 방법으로 분류될 수 있으며, 그 분류기준으로 유속측정 알고리즘, 영상밀도(Image density) 혹은 입자분포의 밀도 등이 있다.

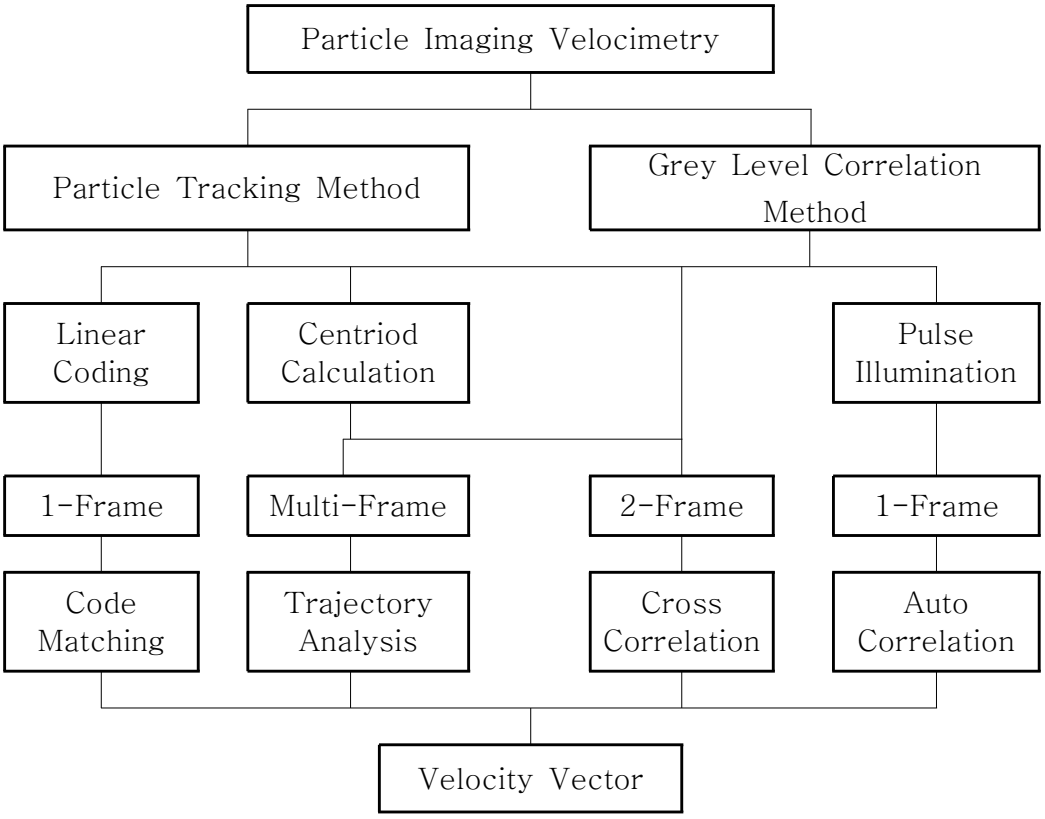


Fig. 2 Flow chart of the PIV classification

가. Particle Tracking Method

Particle Tracking Method(입자추적법) 중에서 가장 보편적으로 이용되는 기법은 개별도심좌표(discrete centroid)기법이다. 개별도심좌표 기법은 연속된 두 프레임 또는 그 이상의 프레임에서 개별추적입자의 도심좌표를 구하고, 구해진 2차원 위치정보(x, y) 좌표를 이용하여 벡터의 시점과 종점을 찾아내며 이로서 속도벡터를 획득하는 방법이다. 이 방법은 3프레임 이상의 연속된 입자분포 화면에 대하여 영상처리를 행하여 모든 입자의 도심좌표를 자동으로 구한 다음 이들 좌표에 대하여 미소시간 동안 이동할 수 있는 최대거리 및 등간격 이동조건과 이동각의 최소조건 등과 같은 평가함수를 산정하고 이로부터 최적의 유효벡터를 찾아내는 방법이다. 그러나 프레임 수가 많아지면 오류벡터의 발생확률을 줄일 수 있지만 단면이탈입자(Out of plane)의 문제로 인해 최종적으로 얻어지는 유효벡터의 수는 감소하게 되며 평가함수를 통한 계산시간이 많이 소요된다는 단점을 가지고 있다. 최근에는 두 프레임의 도심좌표만을 가지고 입자를 추적하는 기법들이 발달되고 있으며 일치확률기법 등과 같이 보다 정확한 속도를 얻기 위한 새로운 알고리즘이 개발되고 있다.

나. Grey Level Cross Correlation Method

Grey Level Cross Correlation Method(계조치상관법)은 순간입자영상을 개별 화상저장매체에 저장하고 각 조사구간 내 계조치분포사이의 상호상관함수를 직접 계산하거나 FFT(Fast Fourier Transform)연산을 이용하여 계산한 후 가장 큰 상호상관계수를 갖는 위치를 프레임 사이의 미소시간간격 ($\triangle t$)로 나누어줌으로써 조사구간 내 평균속도분포를 얻어내는 기법이다. 초기에는 2개 이상의 펄스광에 의해 산란된 입자영상을 고속카

메라와 같은 화상 저장매체에 동시 저장하고 미소 조사구간 내 영상을 Young's fringe 분석이나 자기상관함수를 이용하여 전체 속도장을 계측하는 상관법이 주류를 이루었다. 하지만 이 방법은 속도벡터 방향결정에 모호성 문제가 따르며 신호대 잡음을 나타내는 S/N비가 낮다는 문제점이 있었다. 최근 들어 방향의 모호성을 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 개발되어 활용되고 있다.

입자추적이나 입자분포 상관정도에 다른 계조치상관법은 한 장의 영상을 이용하는 1-Frame Method과 두 장의 영상을 이용하는 2-Frame Method, 그리고 여러 장의 영상을 사용하는 Multi-Frame Method으로 나누어진다.

다. 1-Frame Method

입자추적법이나 계조치상관법 중에서 하나의 프레임만을 이용하여 속도벡터를 구하는 방법을 1-Frame Method이라고 한다. 1-Frame Method은 광의 노출시간을 길게 하여 입자들의 streak을 형성시키는 Streak법과 여러 개의 Pulse로 Coding하는 Multi pulse coding법. Streak법과 Pulse coding을 혼합하는 방법 등이 있다. 속도를 계산하기 전에 획득된 영상에 대하여 영상을 이분화(Thresholding)하여 입자추적의 효과를 높이고, 오류벡터를 줄이기 위하여 배경잡음(back- ground noise)을 제거한다. 다음으로 입자들의 경계를 탐색하고, 도심계산 등의 영상처리를 연속적으로 수행한다. 가시화실험을 통해서 얻은 영상을 1-Frame Method에 적용하여 속도벡터를 구하는 방법은 Fig. 3과 같다. Streak와 Dot를 혼합한 방법을 이용할 때 Chopper를 통과하는 광의 주기가 특정한 비를 가지고 있으므로 획득된 영상 내에서 입자들의 형상이 Fig. 4와 같이 분포하게 된다. 이때 점과 유맥선을 픽셀 점의 수로부터 판단하여 각각 분

리 저장한다. 저장된 유맥선에 대하여 곡선적합을 실행한 후 얻어진 함수의 방향으로 일정한 거리에 있는 지점에 적당한 크기의 탐색영역을 설정한다. 탐색영역 내에 화면주사 방향으로 탐색을 실행하여 영역 내에서 발견된 모든 pulse점에 대한 입자중심의 좌표 값에 기억시킨다. 여기에 있는 모든 입자중심의 좌표 값에 대하여 평가함수(evaluation function)를 도입하거나 적절한 알고리즘을 사용하여 종점을 구하게 되고 식 (2-1)로 속도벡터를 구하게 된다. 여기서 M은 magnification factor를 의미한다.

$$\text{Velocity} = M\frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad M\frac{\Delta y}{\Delta t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2\text{-}1)$$

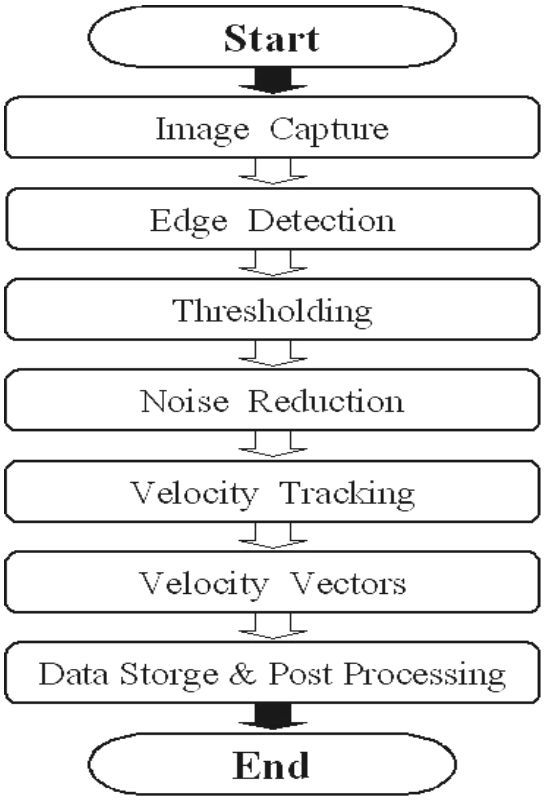
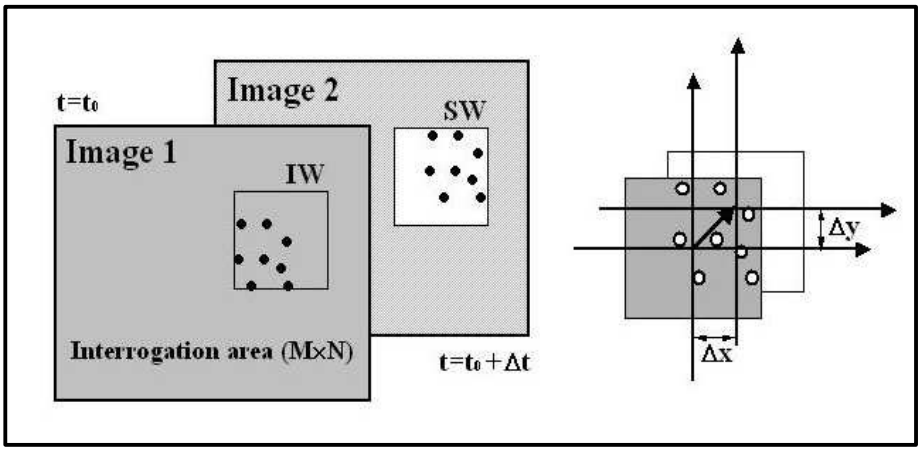


Fig. 3 Flow chart of the 1-frame method



$$\text{Velocity} = M\frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad M\frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Fig. 4 Velocity vector calculated from a displacement of a small sub-region and known time Δt

라. 2-Frame Method

2-Frame Method은 입자의 도심을 계산하여 속도벡터를 구하는 입자추적법과 계조치의 강도로써 속도벡터를 구하는 상호상관법에서 가장 많이 사용되고 있다. 상호상관법은 속도계산에 소요되는 시간이 매우 짧으나 2차원 영상에 근거하기 때문에 3차원 유동장 해석에 확장하기 위해서는 세심한 주의가 요구된다. 첫 번째 프레임에서 미소한 크기를 갖는 상관영역내의 입자는 두 번째 프레임의 탐색영역 내에 있다고 간주한다. 제 1-프레임과 제 2-프레임의 상관영역 내 각 화소(픽셀)의 계조치는 각각 $f(x, y)$와 $g(x, y)$로 나타낼 수 있으며, 이때 f와 g는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$f(x, y) = g(x - u\Delta t,\ y - u\Delta t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2\text{-}2)$$

식 (2-2)의 $u\Delta t$와 $v\Delta t$는 x축과 y의 미소변위이고, f와 g의 상호상관계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}[f(i,j)-\bar{f}][g(i-s,j-t)-\bar{g}]}{\left\{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}[f(i,j)-\bar{f}]^2[g(i-s,j-t)-\bar{g}]^2\right\}^{1/2}} \quad \cdots(2-3)$$

Fig. 5에서 $f(x,y)$의 원점이 제 1-프레임 상에서 속도벡터를 구하기 위한 벡터의 시점을 나타낸다. 이 점과 제 2-프레임 상에서 탐색영역(M)내의 모든 픽셀에서의 상관영역(J×K)의 $g(x-s,y-t)$에 대해 식 (2-3)을 이용하여 최대상호상관계수를 계산한다. 여기서, $\bar{f}$와 $\bar{g}$는 각각 제 1-프레임과 제 2-프레임의 평균 계조치를 의미하며, f와 g는 각각 제 1-프레임과 제 2-프레임의 임의 점의 계조값을 의미한다. 다음으로 이 값들 중에서 Fig. 6과 같이 최대상호상관값의 위치를 찾으면 이 점이 바로 속도벡터의 종점이 되는 것이다. 이 때 상관영역(Correlation area)은 제 1-프레임과 제 2-프레임에서 각 픽셀의 계조치를 비교하기 위한 탐색영역 내 동일한 크기의 면적을 의미한다. 탐색영역(Searching area)은 제 1-프레임상의 시점에서 제 2-프레임상의 종점이 허용할 수 있는 최대거리를 의미한다. 만약, 탐색영역을 너무 크게 설정하면 계산시간이 오래 걸리며 오류벡터가 발생될 수 있다. 상관영역의 크기는 유동장에 따라서 다르게 결정되어야 한다. 이와 같이 두 개의 프레임을 이용한 후보입자의 추적방법은 기존의 4-Frame Method에 비해 프레임 수가 줄어들게 되어 이미지 보드(DT-3152)를 이용한 영상처리 시 컴퓨터 기억용량이 훨씬 줄어드는 장점을 가지고 있다. 그러나 입자가 중복되지 않는 범위 내에서 시간간격을 설정할 필요가 있다. 왜냐하면 단일입자의 중심점을 구하여 입자의 이동거리를 구할 때, 셀의 크기가 상대적으로 크면 분해능이 떨어

지므로 획득한 속도벡터의 정도가 떨어질 우려가 있기 때문이다.

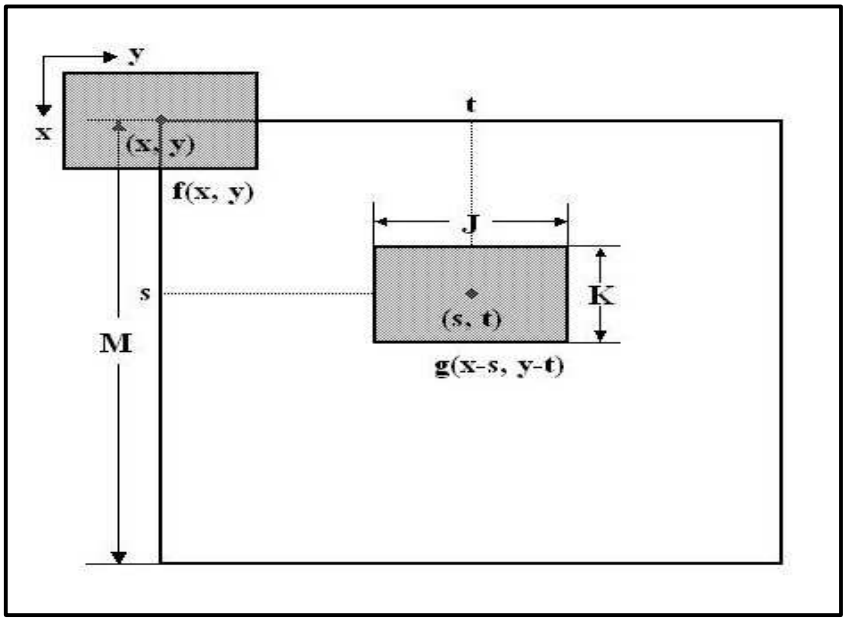


Fig. 5 Principle of the grey level cross correlation

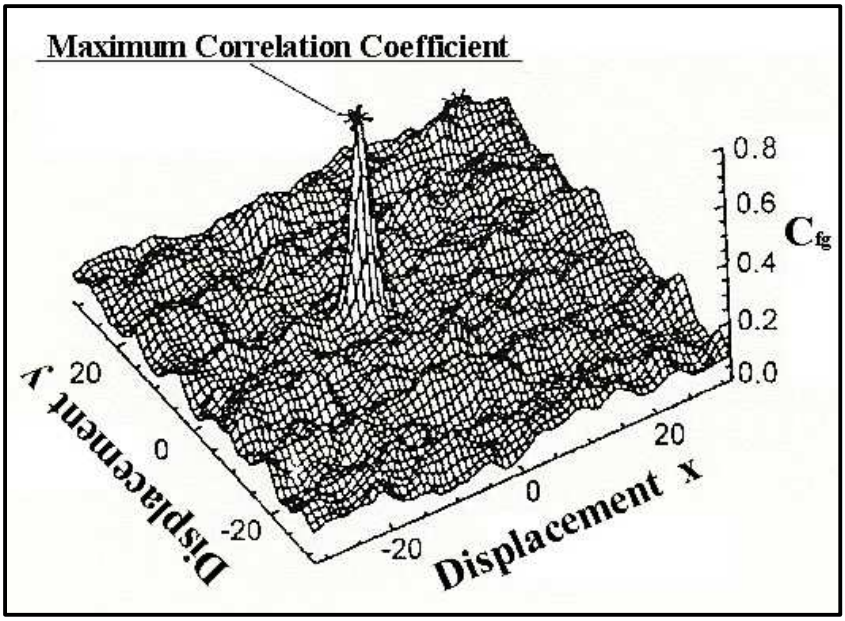


Fig. 6 Maximum cross correlation coefficient.

第 3 章　實　驗

第 1 節 實驗裝置

1. EXPERIMENT DUCT

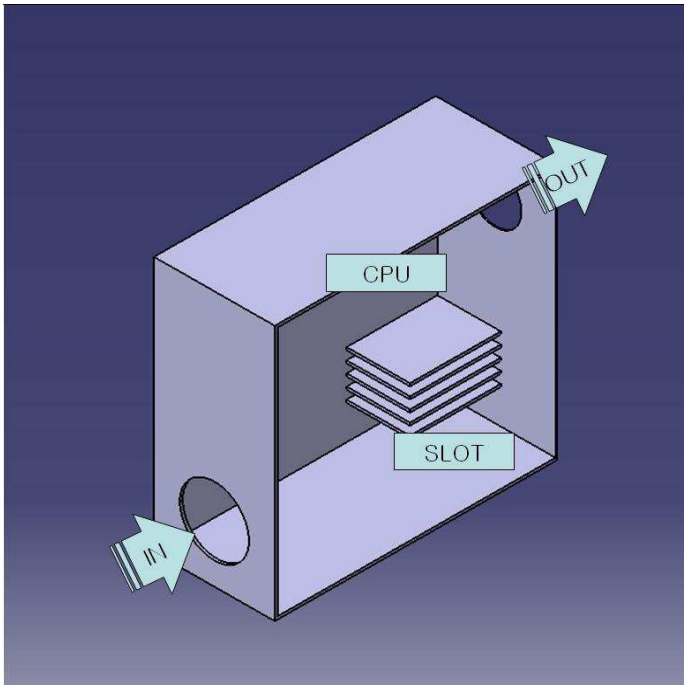


Fig. 7 Experiment Duct

Fig. 7는 210*450*490㎜(가로*세로*깊이) 크기의 Desktop PC의 크기의 실험닥트이며 5㎜의 두께의 투명 아크릴로 제작하였다. 이 닥트의 전면에 120㎜의 흡입Fan, 후면에 92㎜ 방출Fan, CPU에 흡입, 방출Fan과 Z축으로 90°틀어진 92㎜ 냉각Fan이 설치되고 5개의 Slot이 흡입Fan과 수평인 방향에 설치된다. 흡입Fan 전면에는 입자를 균일하게 뿌려줄 수 있는 210*450*250㎜의 서지탱크를 설치하고 방출 Fan 후면에는 210*450*300㎜의 닥트를 설치하였다.

2. 各 裝置들의 諸元

CPU 및 흡입, 방출에 사용된 Fan은 ADDA사의 120㎜, 92㎜크기의 유체베어링Fan으로 7개의 날개를 가지고 있다. DC 12V를 사용하며 풍량과 소음은 각각 72.0CFM, 26.3CFM과 34.4DBM, 16.0DBM을 가지고 있다. 다른 팬들에 비해 풍량이 많고 소음이 적으며 3Pin Type의 가변저항을 사용하여 Fan의 RPM을 조절할 수 있어 본 실험의 실험 장치로 사용하게 되었다.

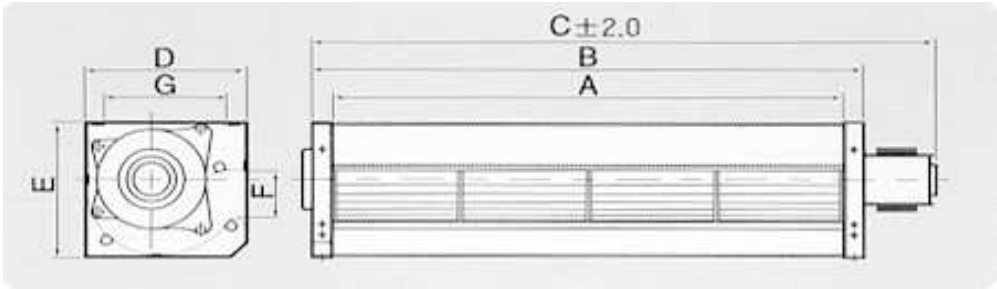
Table. 1 In, Out, CPU Fan Specification

120㎜ 25T (유체/3P)		92㎜ 25T (유체/3P)	
Dimension	120 x 120 x 25㎜	Dimension	92 x 92 x 25㎜
Bearing Type	유체(Hydro Bearing)	Bearing Type	유체(Hydro Bearing)
Reted Speed	1000rpm ± 10%	Reted Speed	1500rpm ± 10%
Reted Volltage	12V DC	Reted Volltage	12V DC
Reted Current	0.24A	Reted Current	0.09A
Air Flow	72.0 CFM	Air Flow	26.3 CFM
Noise Level	34.4 DBA	Noise Level	16.0 DBA
Pin Type	3 Pin Type	Pin Type	3 Pin Type

Sirocco-Fan은 다른 송풍기에 비해 넓은 유량범위와 고른 성능을 가지고, 소음이 적어 공기조화용이나 공장용 송풍기로 널리 쓰이는 송풍기의 한 형태이다. Sirocco-Fan은 1864년 영국의 Sam Davidsond에 의해 발

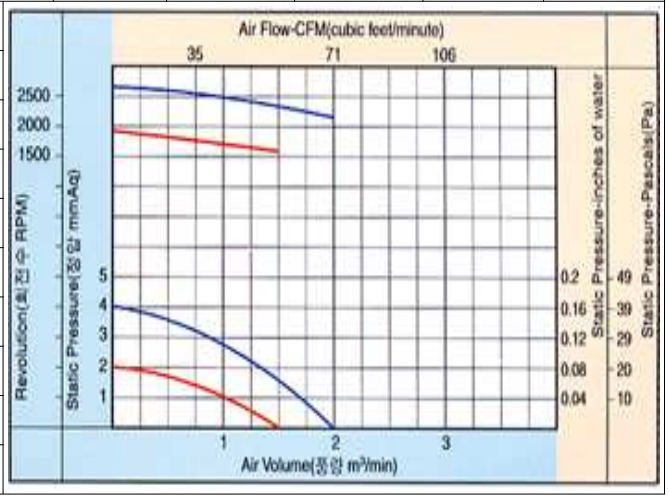
명된 이래로, 명칭은 1974년 Eck가 그의 저서에서 사용했으며, 유럽이나 북미지역에서는 Squirrel-cage Fan, 또는 Drum-rotor Fan, FC(Forward-Curved) centrifugal Fan 등으로 불리고 있다. Sirocco-Fan은 건물의 공기조화용, 산업용 blower 등 대용량의 용도로 쓰이고 있고, 에어컨(air-conditioner), 온풍기, 모발건조기(hair-dryer), 자동차 실내용 송풍기 등 비교적으로 소용량의 용도까지 광범위하게 사용되고 있는데 이를 CPU와 Slot의 사이에 설치하였다. 사용된 Sirocco-Fan의 제원은 Table. 2에 자세히 기재돼있다.

Table. 2 Sirocco Fan Specification



Model No.	A	B	C	D	E	F	G
AC-060-010	116	142	188	98	90	36	60

구 분	50Hz	60Hz
전압/상	220/1 ∮	220/1 ∮
모 터	15	15
소비전력	12	21
전 류	0.10	0.17
회 전 수	1600	2300
풍 량	1.5	2.0
정 압	2.0	4.0
소 음	45	48
무 게	1.5	1.5



3. Particle Image Velocimetry

본 실험에 사용한 Laser system은 514.5㎚와 488.0㎚의 기본 파장을 발산하는 Ar-Ion레이저로서 He-Ne레이저와 유사하나 電離(ionization)와 勵起(excitation)를 위해서 대단히 높은 전류를 부여할 수 있다. 다소 기술적으로 복잡한 면이 있으나 레이저의 효율은 10^{-1}의 오더를 갖는다. 광대역 레이저 miller를 사용하여 몇 가지의 파장에서 에너지 방출이 생성된다. 각각의 파장은 레이저 공진기에 있는 Brewster의 프리즘으로 선택할 수 있도록 하였으며 프리즘을 돌려서 조절할 수 있다, 프리즘을 사용하지 않고 하나의 최대파장으로 사용할 수 있는 싱글 렌즈를 통해서 514.5nm를 발생시켜 레이저의 최대 출력을 조절 할 수 있다. LLS(Laser Light Sheet)는 레이저 본체로부터 나오는 광을 입사조절기에서 받아들여 광케이블을 통하여 LLS probe의 렌즈조합에 의해서 단면 광을 생성하는 장치로 sheet의 폭을 쉽게 조절할 수 있으며 광의 손실이 적다는 장점을 가지고 있다. 레이저 본체와 평행을 이루는데 어려움이 있어 본 실험에서는 LLS probe를 레이저 본체에 고정하고 optical fiber line로 연결하여 사용하였다. 멀리 떨어져 있는 곳에서도 단면광의 형성이 가능하고 또한 임의의 위치와 각도로 설치할 수 있도록 하였다.

PIV에서 해석할 영상을 Hi-speed Camera 등과 같은 영상매체를 통해 나타나는 영상신호를 샘플 당 정의된 비트로 디지털화 하여 PC가 처리할 수 있는 신호로 바꾸어 주었다. 산술, 논리연산 및 영상처리조작을 행하여 정보를 분석하기 위하여 이미지 보드를 구성하였는데 이미지 보드의 구성은 MATORAX사의 DATA-Translation보드이고 구성은 입출력 LUT(Look-Up- Table)와 이미지 메모리 그리고 입출력을 위한 A/D 및 D/A컨버터, 외부트리거 및 외부동기신호를 위한 포트로 구성되어있다. 이미지 보드의 작동원리는 비디오로부터 입력된 칼라신호를 보다 선명하게 획득하기 위하여 크로미넌스 노치 필터에서 칼라정보를 제거한

후 아날로그 신호를 샘플링 하여 A/D 변환기에서 디지털화하며 디지털로의 변환은 플레쉬 변환기에 의해서 행해진다. 변환 시 입력범위의 Black Level과 White Level로 조절 할 수 있으며 입력영상신호는 A/D 변환기를 거쳐 디지털 정보로 바뀌어 프레임 메모리에 저장되며 출력 LUT를 통과하여 PC의 램에 저장된다. RAM에 저장된 영상 Data는 모니터에 디스플레이 하거나 하드디스크로 저장 할 수 있도록 하였다.

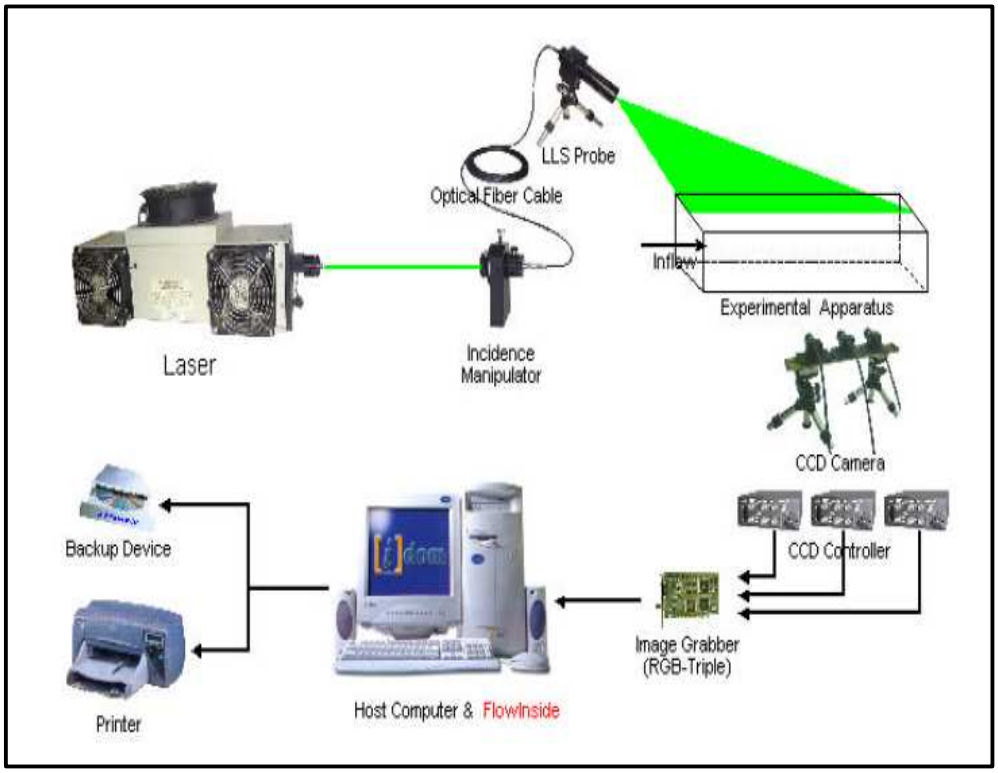


Fig. 8 Schematic diagram of the PIV system

第 2 節 實驗方法 및 計測

1. PIV 計測

PIV실험 시 실험 온도는 상온20℃에서 ±1℃, 습도는 40%에서 ±1%의 차를 유지 시켰으며 작동유체는 공기이며 추적 입자는 가벼우며 레이저광에 잘 산란된 ZnO(아연화가루)를 사용하였다. 입자의 산란은 흡입구에 부착된 Surge tank의 Fan에 의해 이루어지고 균일 분포를 위해 Henny Comb을 설치하였다. 입자가 Test section내에 분포 후 흡배기 Fan을 작동시켜 Surge tank로부터 발생되는 외부요인을 최소화 시켰다.

내부 변경조건으로는 Photo 4, Photo 5와 같이 PC상단으로부터 330㎜ 떨어진 지점에 Slot 1을 설치하고 각각 20㎜간격으로 설치된 6개의 Slot의 Test section 영상을 취득 하였다. CCD 카메라에 실제로 측정된 시험부의 Test section은 450㎜×495㎜로 잡았으며, 고속 유동의 유동영상을 획득하기 위하여 AOM(Acoustic Optical Modulator)에 의하여 단속된 조명으로 촬영한 영상은 CCD카메라의 홀수필드와 짝수필드에 각각 입력된다.

본 실험의 가시화를 위해 사용된 장비는 Table. 3과 같으며 고속도계측을 위해 조명과 카메라의 동기화를 시켰으며 AOM을 이용하여 적절한 시간간격을 설정하였다. Laser system은 514.5㎚와 488.0㎚의 기본 파장을 발산하는 Ar-Ion 레이저로서 He-Ne 레이저와 유사하나 ionization과 excitation를 위해서 대단히 높은 전류를 부여할 수 있다. 저장된 영상은 영상처리장치(Matrox DATA Translation-256 Grey Level)로부터 아날로그신호를 2차원의 디지털영상정보로 바꾼 후, 각종 전처리 과정은 전용 소프트웨어 CACTUS3.2를 이용하였다.

Table. 3 Specification of PIV system

	Item	Specification
Visualization Equipment	Image Grabber	matrox (DATA Translation) - 256 Grey Level
	Light Source	7W Argon-Ion Laser
	Sheet Light	LLS probe
	Camera	Kodak(ES 1.0) 1008 H x 1018 V (1,026,144)
Measuring Condition	Working Fluid	Air
	Temperature	2 0 ℃ ±1
	Particle	Zn
	Time Resolution	1 / 60 sec
Image Processing	Host Computer	Pentium IV PC (CPU 2.54 GHz RAM 1G)
	Calculation Time	30 frame/sec
	Identification	Cactus'2000 (grey-level cross correlation algorithm)
	Number of Data for Time-Mean	65 frames
PIV System Equipments	Probe	KANOMAX LLS Probe
	Laser	LEXEL Argon-Ion Laser (최대 7W)
	CAMERA	Kodak(ES 1.0) 1008 H x 1018 V (1,026,144)
	Image Grabber	matrox (DATA Translation) - 256 Grey Level
	Computer	Pentium IV PC (CPU 2.54 GHz RAM 1G)
	Software	CACTUS'3.2 (Cross-Correlation Algorithm)

Photo. 1 Experimental equipments of PIV and test duct

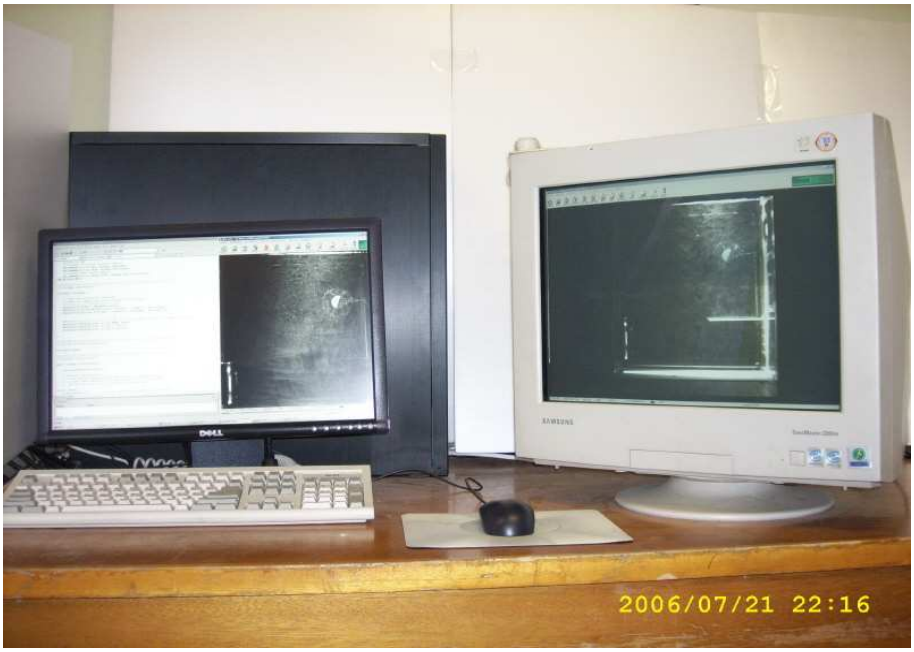


Photo. 2 Date acquisition and processing system of PIV

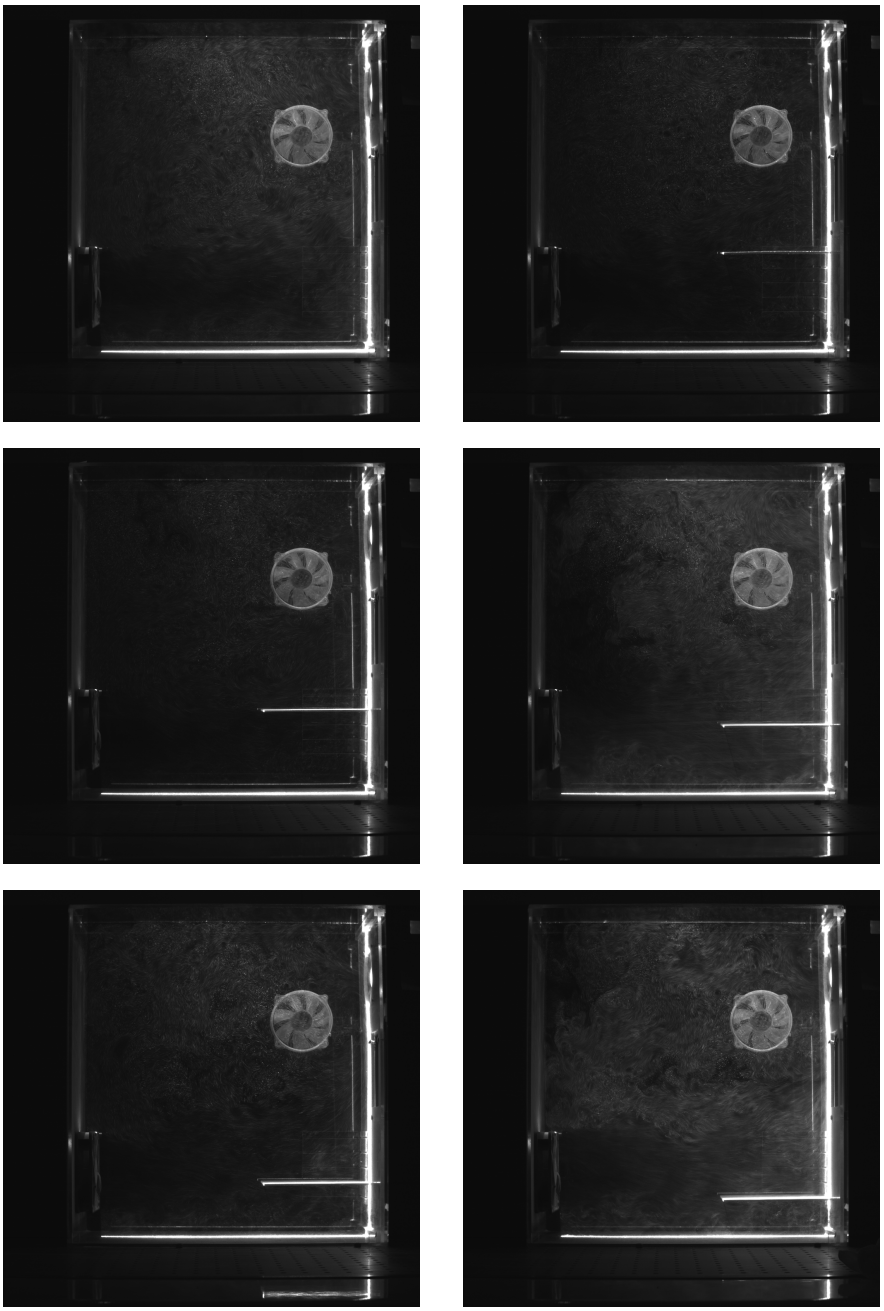


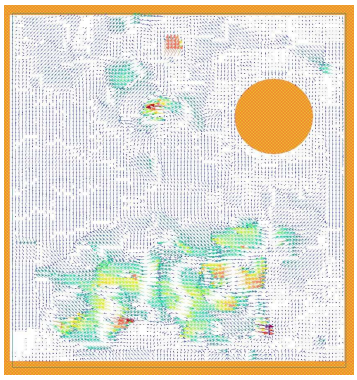
Photo. 3 Fan 1,2 and Sirocco-Fan ON PIV Experiment

第 4 章　結果 및 考察

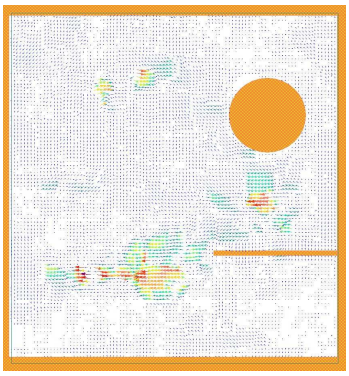
第 1 節 速度分布

Desktop Personal Computer 내부 공조기의 Sirocco-Fan의 동일한 회전수를 일정하게 유지시키며, Slot의 위치를 3가지로 변화를 주었을 때 test-section의 평균속도분포와 운동에너지분포의 유동현상을 보여주고 있다. Photo. 4는 Sirocco-Fan 에 의한 Desktop Personal Computer 내부의 Test-section의 총괄적인 평균속도벡터의 분포와 속도파일의 유동현상을 보여주고 있다. Fig. 9는 Photo. 4의 자료를 무차원화 그래프로 변환 시킨 것이다. Fig. 9에서 x축은 변수로 나오는 40, 60, 80지점의 속도는 좌측 흡기 팬으로부터 90㎜ 떨어진 점의 각 속도벡터를 기준으로 하여 우측방향으로 180, 270, 360㎜ 지점의 속도벡터를 나누어 각 지점의 속도 벡터를 무차원화 시킨 것이다. 각 지점(40, 60, 80)에서의 99개의 눈금은 Photo. 4의 세로방향의 위치를 나타낸 것이며 y축은 속도벡터의 크기와 방향성을 나타낸다.

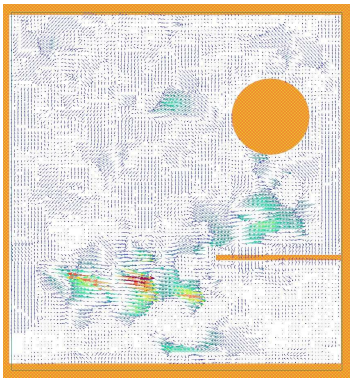
출구 쪽으로 배기될 때 CPU Fan이 설치된 장애물의 영향을 받는 것을 보여주며, 내부의 곳곳에서 크고 작게 발생되는 와류현상은 흡·배기 팬의 회전수의 차이에 의한 속도에 따른 압력차에 의해서 발생하는 것과. Slot이 설치되었을 때 유체와 Slot표면과의 전단력에 의한 현상으로 사료된다.(b)와 (c)에서는 Slot의 장착에 의해 흡입되는 작동유체들이 Slot의 하부로 들어가려는 현상과 하부에 밀집된 작동유체들이 출구로 나오려는 현상이 동시에 발생되어 정체현상과 더불어 심한 와류현상을 보여주고 있다. 이는 내부 전체 유동현상에 큰 영향을 미치며 소음 발생에도 영향을 미친다.



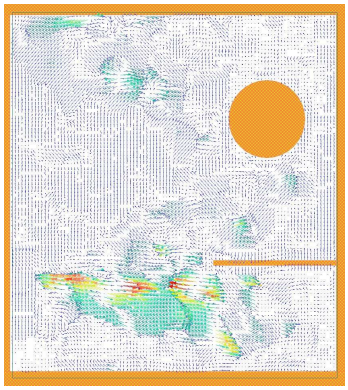
(a) Slot 0



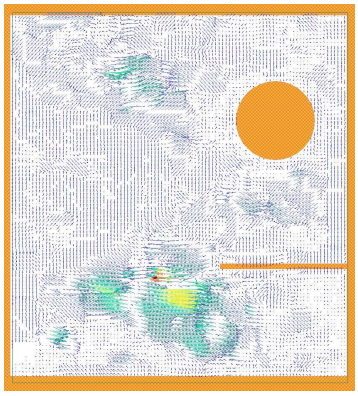
(b) Slot 1



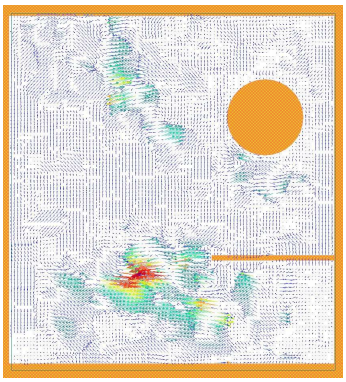
(c) Slot 2



(d) Slot 3

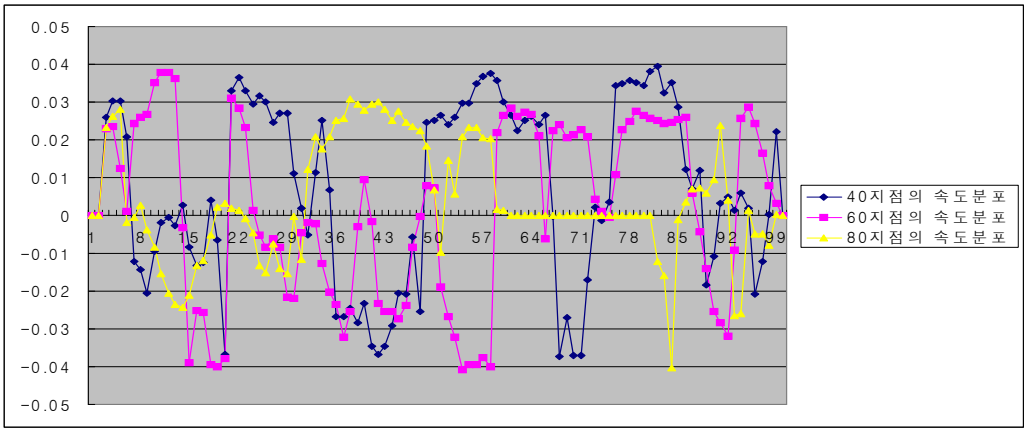


(e) Slot 4

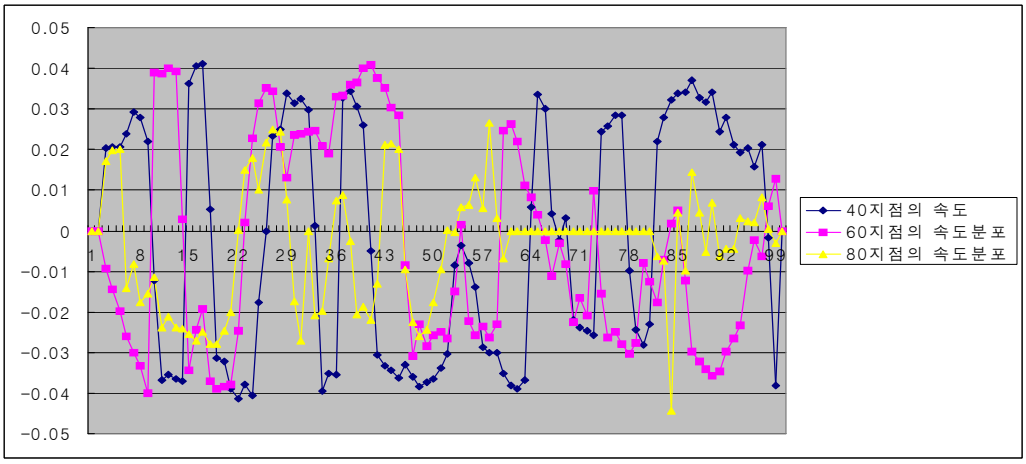


(f) Slot 5

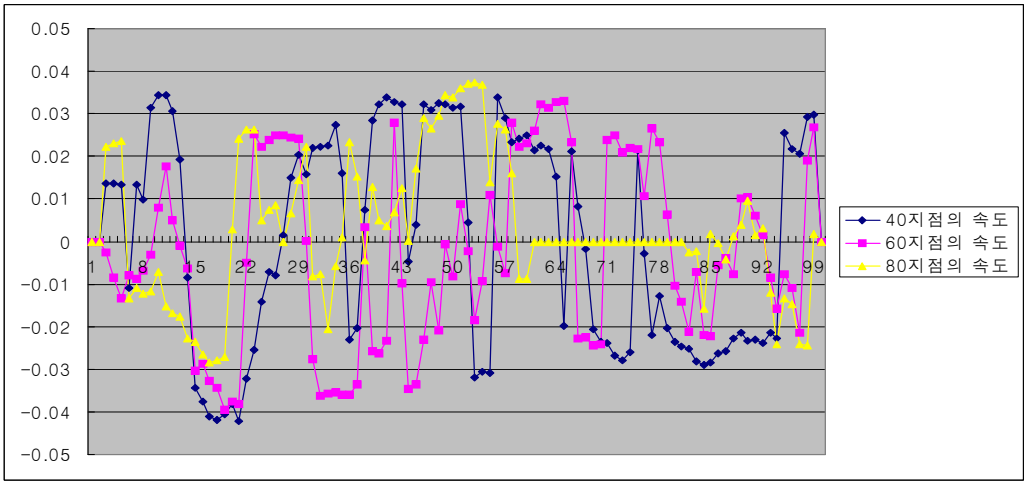
Photo. 4 Velocity Distributions by Sirocco-Fan On



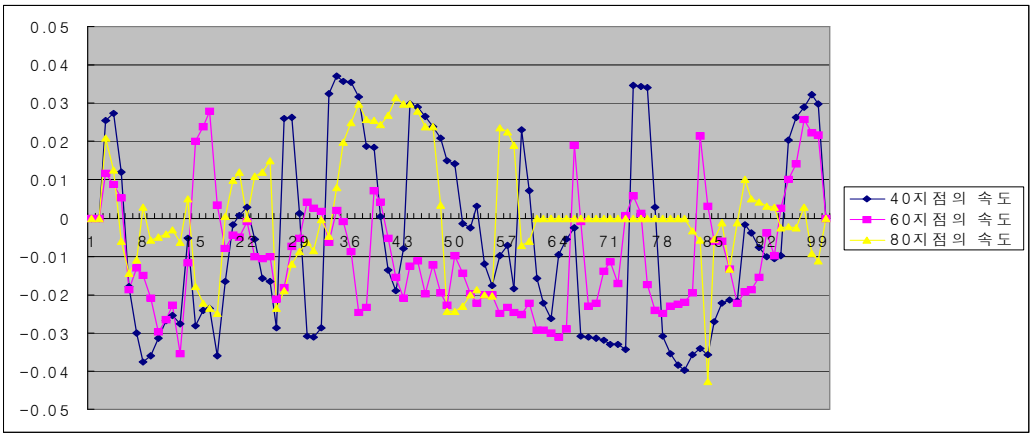
(a) Slot 0



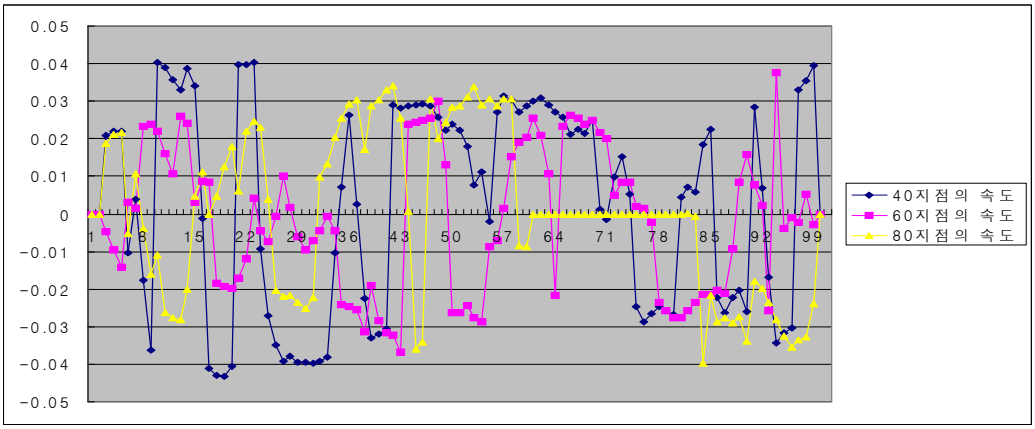
(b) Slot 1



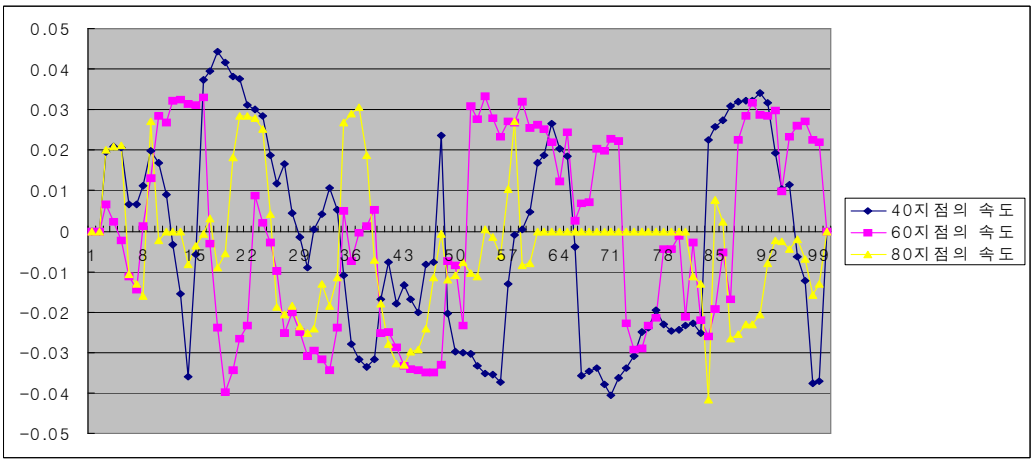
(c) Slot 2



(d) Slot 3



(e) Slot 4



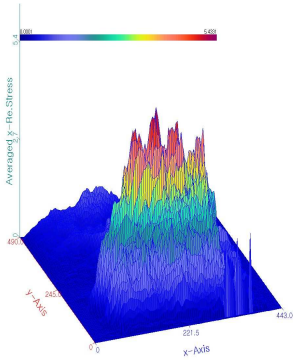
(f) Slot 5

Fig. 9 Velocity Distributions by Sirocco-Fan On

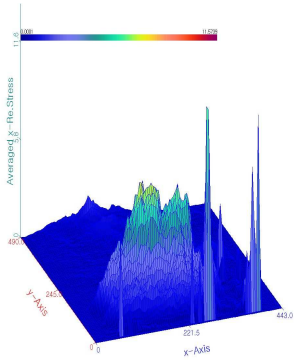
第 2 節 Re-Stress 分布

Fig. 10은 Photo. 5의 자료를 무차원화 그래프로 변환 시킨 것이다. Fig. 10에서 x축은 변수로 나오는 40, 60, 80지점의 속도는 좌측 흡기 팬으로부터 90㎜ 떨어진 점의 각 속도벡터를 기준으로 하여 우측방향으로 180, 270, 360㎜ 지점의 속도벡터를 나누어 각 지점의 속도 벡터를 무차원화 시킨 것이다. 각 지점(40, 60, 80)에서의 99개의 눈금은 Photo. 5의 세로방향의 위치를 나타낸 것이며 y축은 속도벡터의 크기와 방향성을 나타낸다.

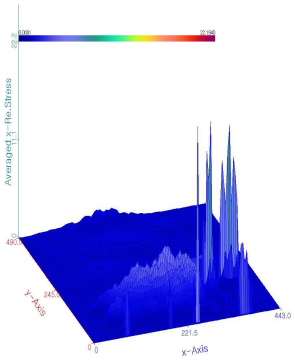
운동에너지와 응력분포도는 속도벡터분포에서 현상을 그대로 보여주고 있다. (b)와 (c)에서는 Slot의 영향을 받아 Slot의 하단과 밑면사이에서 응력이 편중되어 나타는 것을 볼 수 있다. 이는 속도벡터분포와 마찬가지로 Slot하부로 흡입되는 추적 입자들이 빠져나오지 못하고 와류를 형성함으로 발생된 것으로 사료된다. Re-stress표의 좌측 상단에 보면 (a), (b), (c)에서 볼 수 없었던 응력분포가 많은 것을 관찰할 수 있는데 이는 흡·배기 Fan에 의해 발생된 중앙부분의 와류와 압력차가 좌측 상단에까지 영향을 미쳐 나타나는 현상이다.



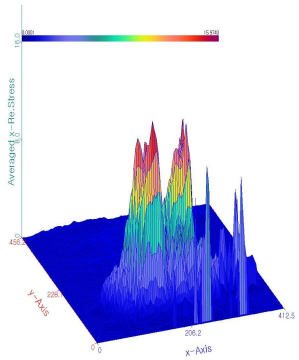
(a) Slot 0



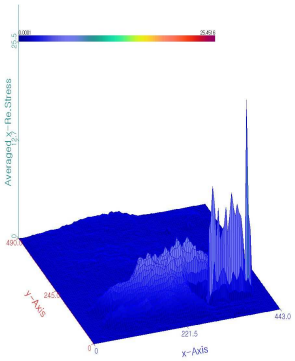
(b) Slot 1



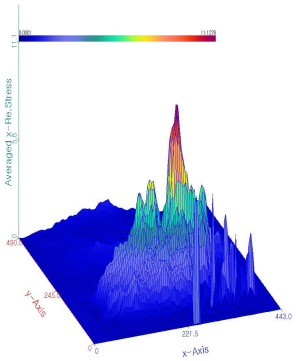
(c) Slot 2



(d) Slot 3

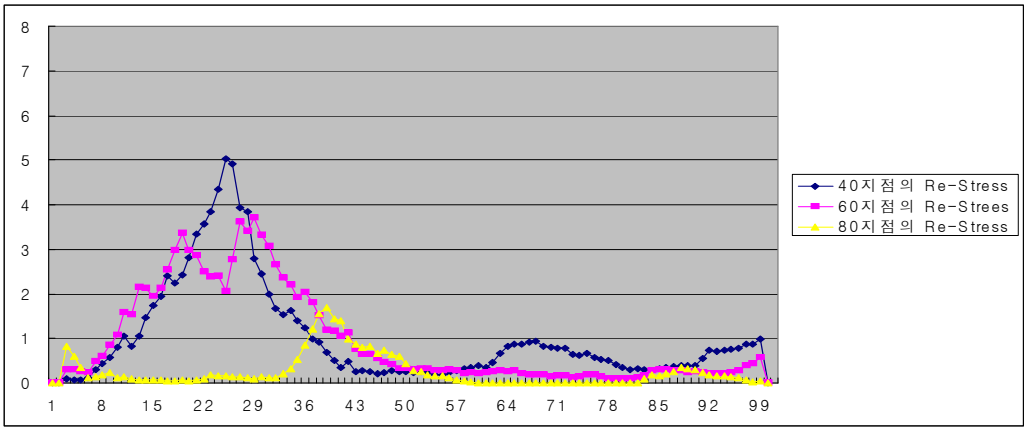


(e) Slot 4

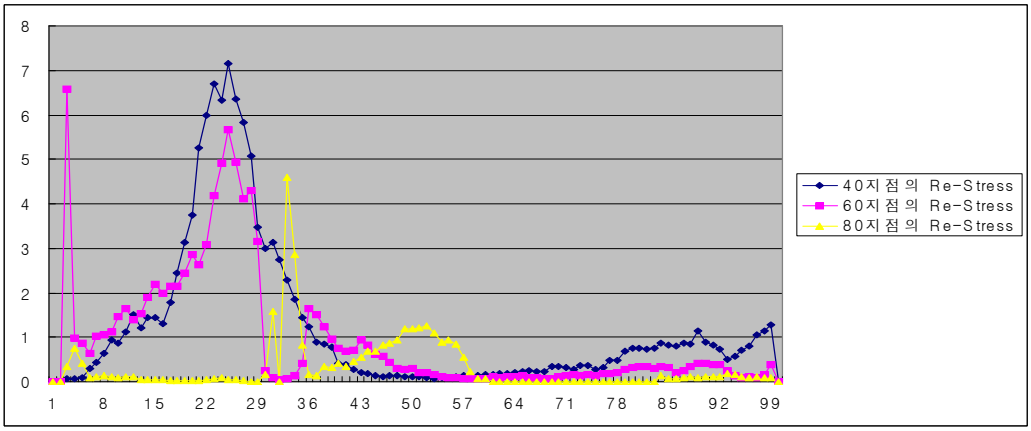


(f) Slot 5

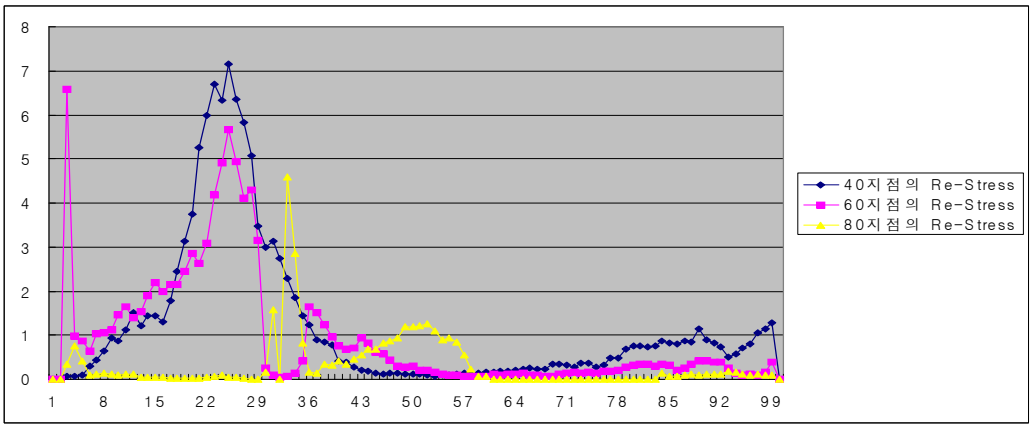
Photo. 5. Re-Stress by Sirocco-Fan On



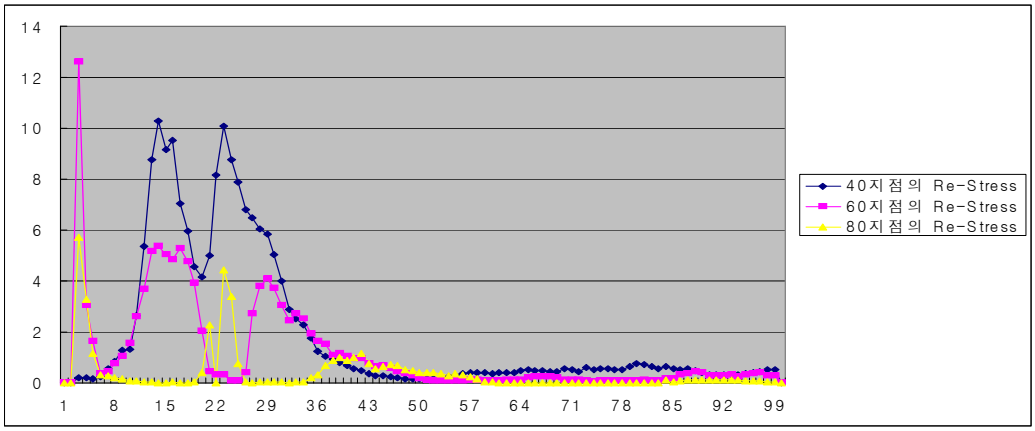
(a) Slot 0



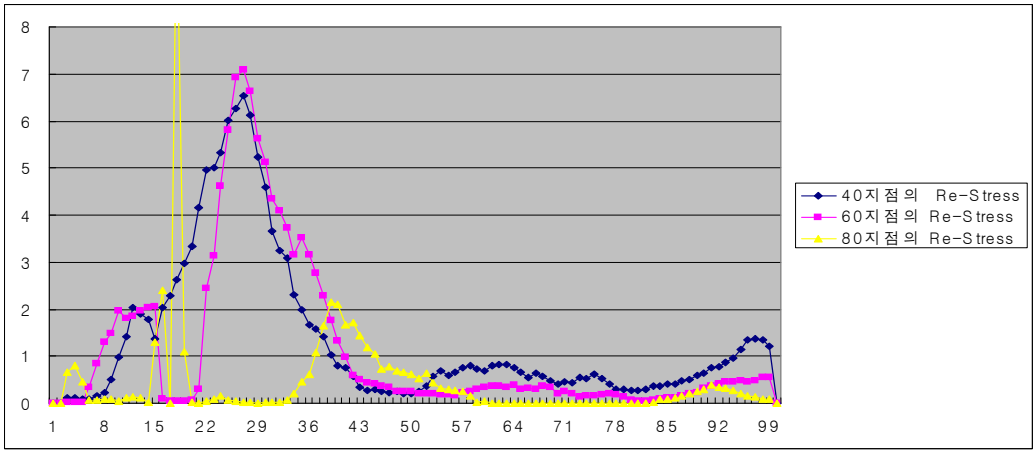
(b) Slot 1



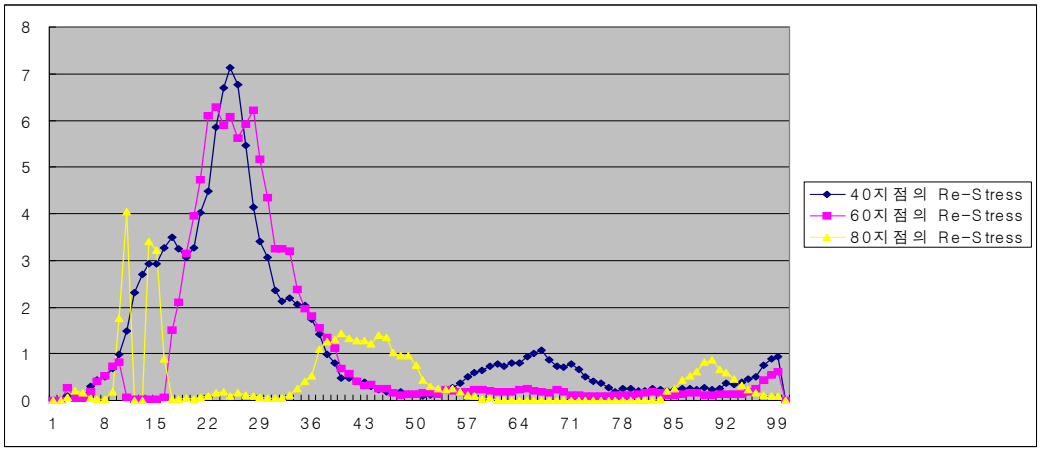
(c) Slot 2



(d) Slot 3



(e) Slot 4



(f) Slot 5

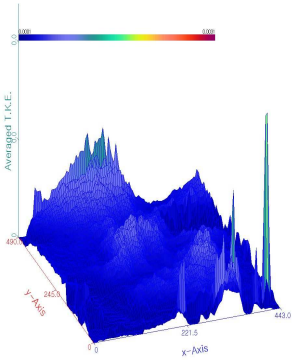
Fig. 10 Re-Stress by In, Out Fan On

第 3 節 運動 Energy 分布

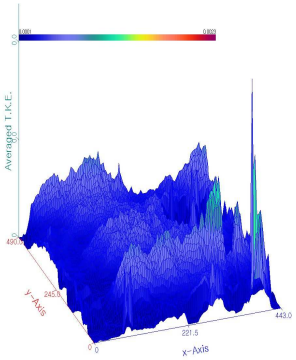
Fig. 11는 Photo. 6의 자료를 무차원화 그래프로 변환 시킨 것이다. Fig. 11에서 x축은 변수로 나오는 40, 60, 80지점의 속도는 좌측 흡기 팬으로부터 90㎜ 떨어진 점의 각 속도벡터를 기준으로 하여 우측방향으로 180, 270, 360㎜ 지점의 속도벡터를 나누어 각 지점의 속도 벡터를 무차원화 시킨 것이다. 각 지점(40, 60, 80)에서의 99개의 눈금은 Photo. 6의 세로방향의 위치를 나타낸 것이며 y축은 속도벡터의 크기와 방향성을 나타낸다.

전반적으로 후단에 큰 운동에너지 분포가 나타남을 알 수 있다. 이것은 속도벡터분포와 마찬가지로 Slot하부로 흡입되는 작동유체들이 빠져나오지 못하고 와류를 형성함으로써 상부 쪽으로 올라가지 못함으로 발생되는 현상이라 사료된다.

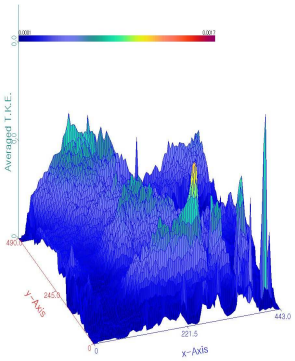
(a)는 (c)보다도 (b)에서 전체적으로 큰 운동에너지가 균일하게 분포되는 것을 알 수 있으며, 이것은 (c)에서는 Slot의 높이가 하단의 벽면에서 많이 떨어져 있지 않으며, 작동유체가 들어오는 유입구의 높이가 (b)보다 낮아 작동유체가 흡입되는 Fan의 영향을 Slot이 방해되어서 나타나는 현상이라 사료된다. (a)에서는 유동을 방해하는 Slot 자체가 없어 유입과 흡입Fan에 의해서 작동유체가 유동장 전체에 일정하게 유동하기 때문이라 사료된다.



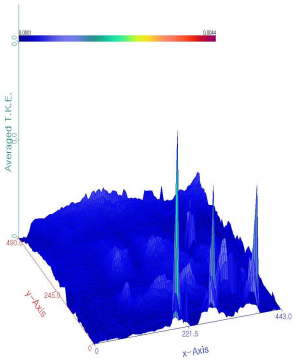
(a) Slot 0



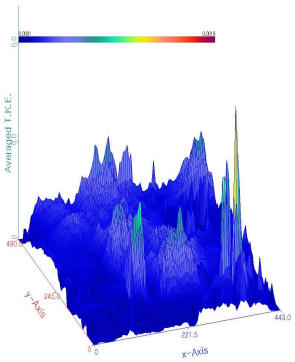
(b) Slot



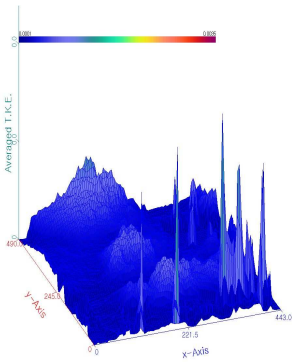
(c) Slot 2



(d) Slot 3

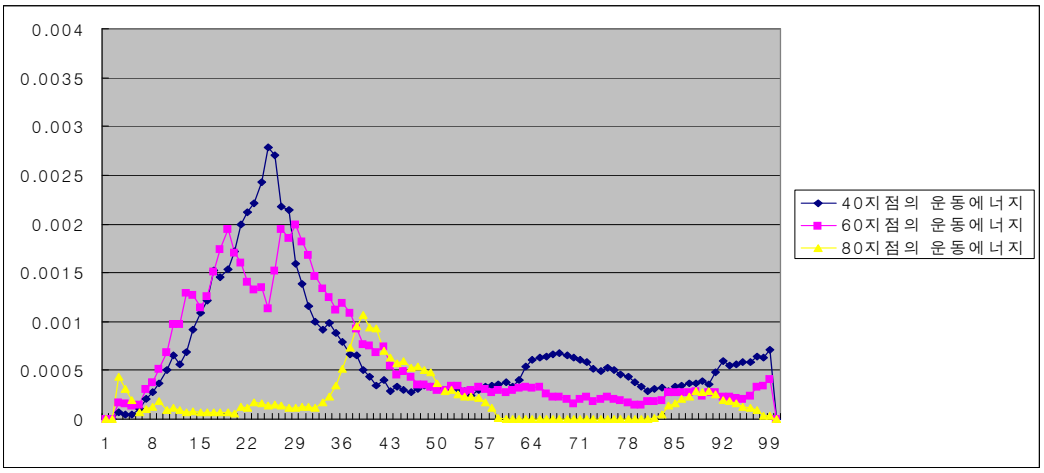


(e) Slot 4

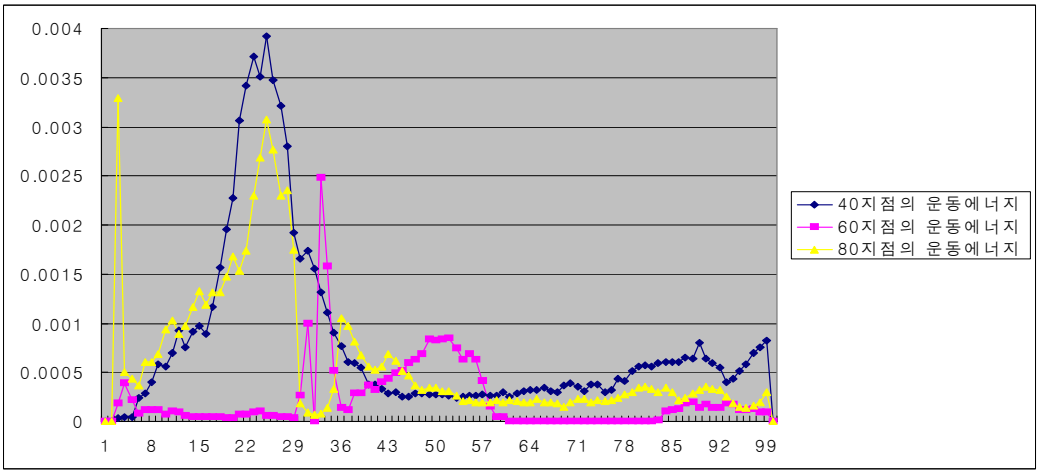


(f) Slot 5

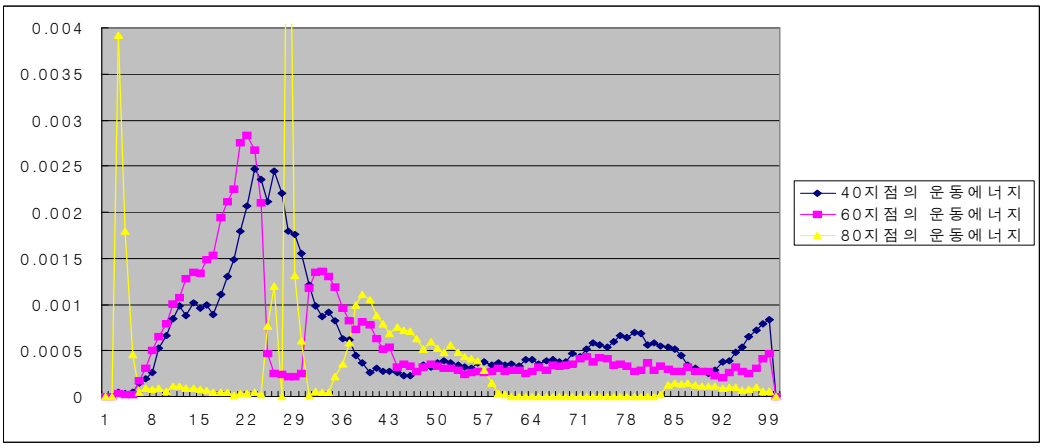
Photo. 6. Averged T.K.E by Sirocco-Fan On



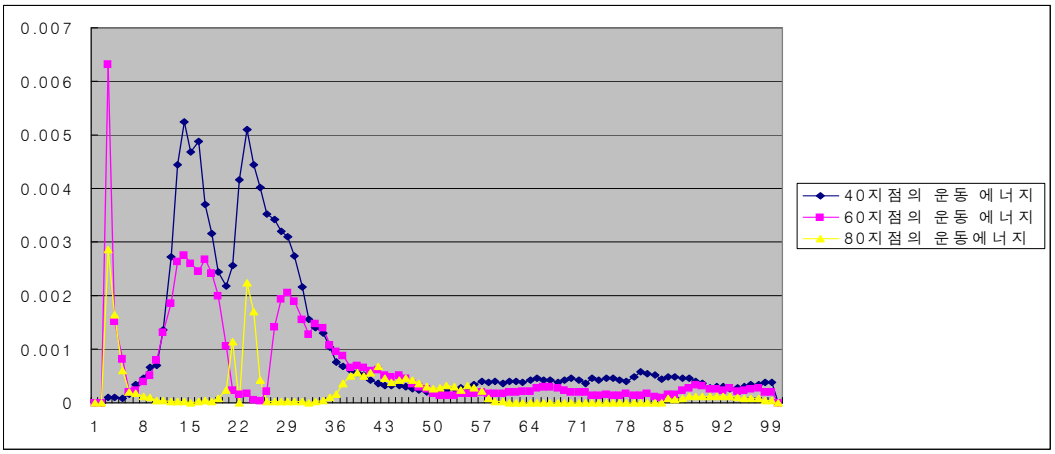
(a) Slot 0



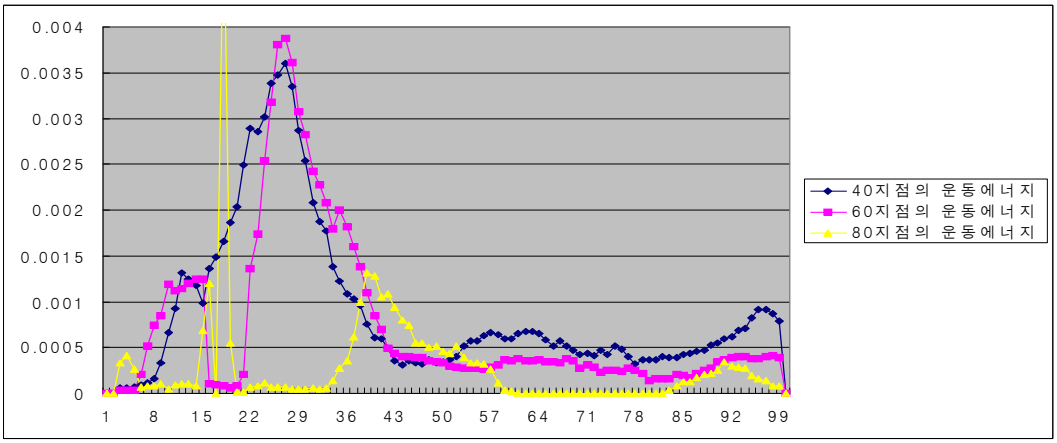
(b) Slot 1



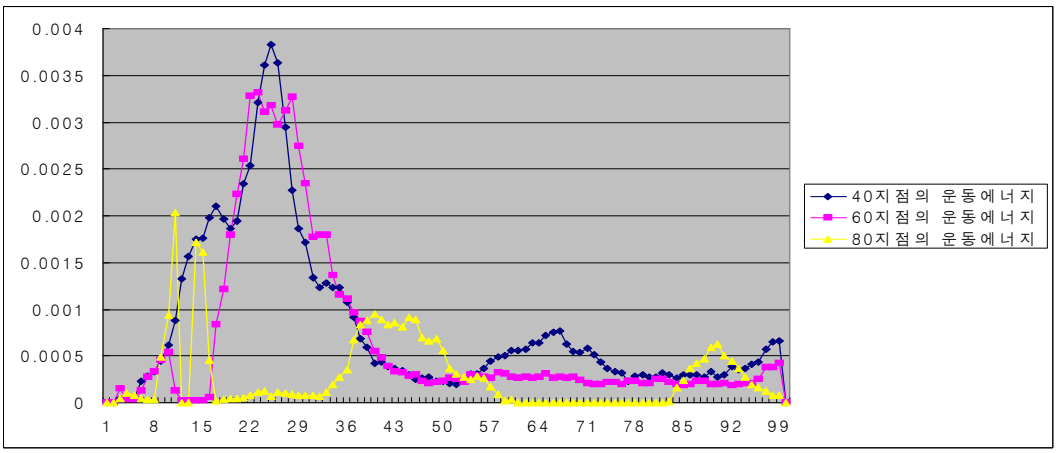
(c) Slot 2



(d) Slot 3



(e) Slot 4



(f) Slot 5

Fig. 11 Averaged T.K.E by Sirocco-Fan On

第 5 章　結　論

PIV 실험을 이용한 Desktop Personal Computer 내부의 유동특성에 관한 기초적인 연구로써 흡·배기 Fan과 Sirocco-Fan을 작동 시킨 상태에서 닥트 입구로 ZnO(추적 입자)를 산란시킨 후 Slot의 설치 위치를 변화시키면서 측정한 Desktop Personal Computer 내부의 유동특성에 대한 실험 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 배기 방향으로 장착된 Sirocco-Fan의 영향에 의해 케이스의 우측 중앙부분에서의 평균속도 벡터 분포가 많이 나타났다. 이는 PC 케이스 내부의 유동을 배기시키는데 큰 영향을 준다.

(2) PC내부에 장착된 흡·배기 Fan의 영향이 직접적으로 미치지 않는 좌측상단도 우측 중앙에 설치된 Sirocco-Fan에 인한 압력차로 인한 유동현상이 발생한다.

(3) Sirocco-Fan 작동 시 작동시키지 않았을 때에 비해 케이스 하단의 유동분포가 더욱 확실하게 나타내진다. Sirocco-Fan이 배기방향으로 작동하여 Slot과 흡기 Fan 사이에서 와류가 더 강하게 나타는 것을 볼 수 있다. 이는 흡기 팬으로 부터 들어온 유체가 배기 팬 쪽으로 흘러가는 도중 Sirocco-Fan의 영향을 받아 생기는 현상으로 사료된다.

REFERENCES

1. Visualization society of Japan. *Handbook of Flow Visualization*: Asakura Book Company(Japanese), 1986.
2. Merzkirch, W., *Flow Visualization(2nd ed)*: Academic Press Inc.,1987.
3. Yang, W. J., *Handbook of Flow Visualization*: Hemisphere Pub.co., 1989.
4. G. K. Lee, "A Basic Study on the Instantaneous Velocity Field Measurement Using PIV", *M.S. Thesis. Pohang Uni.*, 1995.
5. Y. D. Lee, "A numerical and Experimental Research by PIV algorithm using the New Three Step Search of Natural Convection in a Square Cavity", *M.S. Thesis. Konkuk Univ.*, 1999.
6. H. J. Min, "An Experimental Study on the Measurement of Flow Field in Wavy Wall using PIV Algorithm", *M.S Thesis. Konkuk Univ.*, 2001.
7. H. Lee, "A Study on Fluid Characteristics in the Wake of Bluff Bodies by Multivision PIV", *M.S. Thesis. Korea Maritime Univ.*, 2001.
8. W. J. Yun, "A Study on the Flow Characteristics of Laminar Steady Flows in the Exit Region Connected to the Square-Sectional 180°Curved Duct", *M.S. Thesis, Chosun Univ.*, 2002.
9. J. K. Kim, "PIV Measurements of Flow Downstream of Polyurethane Heart Valve Prosthesis for Artificial Heart: Pulsatile Flow Experiment", *KSME(B),Vol.26.No.5*:629-639, 2002
10. J. S. Kim, "A Study on the Shape Design Optimization of

High-Speed Air Vehicles Using Navier-Stokes Equations", *M.S. Thesis. Korea Maritime Univ.*, 2001.

11. C. J. Jang, "Application of CFD to Marine Propellers and Propeller-Hull Interactions", *Ph.D Thesis. London Univ.*, 1997.
12. K. H. Min, "Surface Pressure Measurement on the Square Cylinder in the Wind-Tunnel" *M.S. Thesis. Inchon Univ.*, 2001.
13. C. H. Lee, and W. J. Park, "A Study on the Flow fields Gernerated by a Parallel Flow into Rectangular Hexahedral Enclousres with a Two-Dimensional Inlet and Outlet", *Korea University of Technology and Education, Vol. 8, No. 1*: 21-40 ,2001.
14. Y. G. Yang, "Finite volume meyhod Applied to analyzing the flow in the duct of waterjet propulsor", *M.S. Thesis. Seoul univ.,* 1996.
15. H. N. Lee. G., M. Park., and G. D. Lee, "An Experimental Study on the Flow Characteristics in Dividing Rectangular Duct by using PIV Technique", *KOSME, Vol. 25, No. 6:* 17-24, 2001.
16. H. N. Lee., G., M. Park., and G. D. Lee, "A Study on the Flow Characteristics in Dividing Rectangular Duct by using PIV and CFD", *KSAE, Vol. 1*: 421-427, 2001.
17. H. N. Lee. G., M. Park., and G. D. Lee. "A Study on the Flow Characteristics in Dividing Rectangular Duct", *KCORE, Vol. 1, No. 1*: 270-275, 2001.
18. Adrian. R. J., "Scattering Particle Characteristics and Their Effect on Pulsed Laser Measurements of Fluid Flow : Speckle Velocimetry vs Particle Image Velocimetry", *Applied Optics Vol. 23*, 1690~169, 1984.

19. Kobayashi and Yoshitake. Y., “An Automated Analysis Method for Determining Velocity Vectors from a Pathline Photograph”, *Proc. Int. Symp. on Fluid Control and Measurement, Tokyo, Pergram Press,* 729~734, 1985.
20. Grant. and Liu. A., “Directional Ambiguity Resolution in Particle Image Velocimetry by Pulse Tagging”, *Exp. in Fluids, Vol. 10*, 71~76, 1990.
21. Willert, C. E., and M.Gharib.. “Digital Particle Image Velocimetry”, *Exp. in Fluids, Vol. 10*, 181~193, 1991.
22. Adrian, R. J.. and Keane, “Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics”, *Annu. Rev. Fluid Mech., Vol. 23*, 261~304, 1991.

감사의 글

대학원이라는 2년이라는 시간은 결코 내게 있어서는 짧은 시간이 아니었다고 생각합니다. 2년이라는 시간은 저에게 있어서 너무나 큰 지식과 인생과 사회의 공존할 수 있는 중요한 부분이 아니었나 생각하며 한걸음 더 사회생활에 기초적인 계기의 발판이라 생각합니다. 대학원 다니면서 타지역에서 배움을 찾아가는 것이 제게 있어서는 어느 누구 보다 더 큰 힘의 원동력이 아니었나 다시 한 번 생각해봅니다.

이 논문을 쓰기 까지 저희를 위해 아낌없이 희생을 하시고 정신적 · 육체적으로 연구자로서의 길을 열어주신 이행남 교수님께 깊이 감사의 말을 전합니다. 또한 학교 내에 대외적으로 바쁜 신 가운데 저에게 있어서는 부모님과 같으셨던 논문 심사위원장이셨던 박길문 교수님, 논문이 나오기까지 교정 및 심사를 하시느라 고생하셨던 인자하신 모양우 교수님, 바쁘신 가운데 항상 챙겨주셨던 김진홍 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

대학원 시작하면서 실험의 조언과 방법들을 잘 이야기 해주신 덕구형, 저와 같이 대학원 동기이자 실험실의 친구인 한별이, 자기일을 알아서 잘하는 현선이, 언제나
실험실의 일을 자기 일처럼 도와준 현준이와 정교, 이번에 박사님의 졸업하신 재림 형님 이 모든 분들께도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

저에게 있어서는 친형처럼 다정하게 맞이해주신 병희형, 언제나 자기일에 최선을 다하신 승철이형, 같은 지역에 살고 있는 선배인자 친구인 민수, 항상 믿음과 신뢰를
가져다 주셨던 상훈이형, 조용한 가운데 최선을 다하는 광호형, 서울에 직장을 다니며 애정이 많은 석봉이형, 대학원 동기이자 믿음직한 진석이와 정대, 공대 영원한 장미인 미애, 형들에게 우애를 아는 경원이, 핸섬한 진현이, 이미지가 강한 종수, 제어파트인 주완, 상문, 관웅이, 그리고 친구이자 선배인 훈이 그간 함께 지내왔던 선후배 님들에게 감사드립니다.

고등학교 때부터 뜻을 같이했던 친구 용태, 현범, 강원, 정원, 영곤, 동렬

이 평생 우정과 인생의 유종의 미를 같이 할 친구, 동고동락했던 중학교 친구인 승호, 진홍, 훈이, 동희, 친구동생들 희철, 승환, 동길이 그리고 자주 찾아뵙지 못해 죄송한 김현민 선생님께 감사말을 전합니다.

지금 여기까지 사업과 가족들에게 희생하신 아버님, 한결같이 애정과 사랑으로 묵묵히 바라보셨던 어머님, 그리고 형과 형수님, 언제나 아들처럼 여겨주신 여자 친구 아버님 과 어머님 오빠처럼 잘 따라준 동생들, 제게 있어서 항상 사랑과 믿음을 같이할 인생의 반려자인 여자 친구에게 감사의 말을 전합니다.

서울에서 학업의 길을 알았던 변호사인 창국이형, 누나처럼 친절하게 해주신 형혜누나, 항상 따뜻하게 동생처럼 해주었던 인구형, 신판이형, 상준이형, 보기와 다르게 동안이였던 오현이형, 매사에 행동이 바른 대욱씨 그리고 저를 아는 모든분들게 다시 한 번 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 우리 조카인 승찬이와 현범이 아들인 현배 와 곳 태어날 현배 동생에게 항상 밝고 사회에 인정받는 훌륭한 사람이 되었으면 합니다.