[UCI]I804:24011-200000231662

2007年 2月
教育碩士學位論文

空氣調和用 Multi-Blade Fan의 流動特性에 관한 研究

朝鮮大學校 教育大學院
機械, 金屬 教育學科
황 온

空氣調和用 Multi-Blade Fan의 流動特性에 관한 研究

A Study on the Flow Characteristics of Multi-Blade fan for Air Controller.

2007 年 2 月 日

朝鮮大學校 敎育大學院

機械, 金屬 敎育學科

황 온

空氣調和用 Multi-Blade Fan의 流動特性에 관한 研究

指導敎授 : 李 行 男

이 論文을 敎育碩士 學位 論文으로 提出함

2006 年 10 月 日

朝鮮大學校 敎育大學院

機械, 金屬 敎育學科

황 온

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

100373473 2007-04-09

황 온 의 碩士學位 論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校　　敎授　박 길 문 ㊞

委　員　朝鮮大學校　　敎授　모 양 우 ㊞

委　員　朝鮮大學校　　敎授　이 행 남 ㊞

2006年　12 月　　日

朝鮮大學校 敎育大學院

目 次

LIST OF TABLES iii
LIST OF FIGURES iv
LIST OF PHOTOS v
NOMENCLATURE vi
ABSTRACT ix

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 4

第 2 章 理論的 背景 6
第 1 節 PIV의 理論的 背景 및 速度計算 알고리즘 6
1. PIV의 理論的 背景 6
2. 速度計算 알고리즘 13
가. 입자추적법 14
나. 계조치상관법 14
다. 1-프레임법 15
라. 2-프레임법 18

第 3 章 實 驗 ····· 21
第 1 節 實驗 裝置 ····· 21
第 2 節 資料 處理 方法 ····· 22
第 3 節 實驗 計測 ····· 24
1. PIV 計測 ····· 24

第 4 章 結果 및 考察 ····· 31
第 1 節 速度分布에 대한 考察 ····· 31
第 2 節 應力分布에 대한 考察 ····· 37

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

LIST OF TABLES

Table 1 Experimental conditions of the flow visualization tests ····· 30

LIST OF FIGURES

Fig. 1.2.1 Experiment Apparatus and Test Section ····· 4
Fig. 2.1.1 Pulse Control of the AOM ····· 12
Fig. 2.1.2 Flow Chart of the PIV Classification ····· 13
Fig. 2.1.3 Flow Chart of 1-Frame Method ····· 17
Fig. 2.1.4 Velocity vector calculated from a Displacement of a small sub-region and known time Δt ····· 18
Fig. 2.1.5 Principle of the Grey level cross correlation ····· 20
Fig. 2.1.6 Maximum cross correlation coefficient ····· 20
Fig. 3.1.1 Experiment Apparatus and Test section ····· 21
Fig. 3.3.1 Raw Image maps for the Developing transitional steady flow ····· 26
Fig. 3.3.2 Schematic Diagram of the PIV System ····· 28
Fig. 4.1.1 Mean Velocity Distributions ····· 33
Fig. 4.1.2 Mean Velocity of a Point 335mm ····· 35
Fig. 4.2.1 XY-Reynolds Stress Distribution of Multi-Blade Fan for Air Controller ····· 38
Fig. 4.2.2 Velocity Profile of Multi-Blade Fan for Air Controller ····· 40

LIST OF PHOTOS

Photo 1 Experimental PIV System 24
Photo 2 Experimental Equipments of PIV and Test duct 27
Photo 3 Data Acquisition and Processing System of PIV 27

NOMENCLATURE

Symbols

A	:	Cross-sectional area [mm]
a	:	Duct half-width [mm]
b	:	Duct half-height [mm]
C	:	Pressure drop coefficient in the fully developed flow region
C_{fg}	:	Correlation coefficient
D	:	Pipe diameter [mm]
d	:	Orifice diameter [mm]
D_{eff}	:	Equivalent effective diameter [mm]
D_h	:	Hydraulic diameter $(=4ab/(a+b))$ [mm]
$f(i, j)$	:	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 [mm]
$i\ j\ k$	:	Unit vector along x, y and z-axis, respectively
K	:	Incremental pressure drop coefficient in the entrance region
l	:	Length of the test section [mm]
L_e	:	Exit length [mm]

M : Magnification factor

P : Wetted perimeter [mm]

ΔP : Pressure difference [N/m^2]

R : Radius of curvature [mm]

Re : Reynolds number of steady flow $(= D_h \cdot u_m / \nu)$

t : Time [s]

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

u_m : Cross-sectional mean velocity of laminar flow [m/s]

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 Flow Characteristics of Multi-Blade Fan for Air Controller.

Hwang, On
Advisor : Prof. Lee, Haeng-Nam,
Education of Machine & Metal,
Graduate School of Education,
Chosun University

As more people live in skyscrapers, the demands to live in pleasant indoor environment are increasing. The most important thing for pleasant indoor environment is air conditioning and ventilation for indoor heating and cooling is necessary. And the indoor air contaminated due to various indoor elements must be ventilated. For ventilation of indoor air, an air-conditioning fan is generally used. Recently, as main part of indoor air-conditioning system, high quality, high efficiency and low-noise production of the fan are importantly considered. In particular, as noise structures of hydraulic machinery are closely related with internal flowing conditions, internal flowing conditions of fan are very important.

As a multi-blade fan (Sirocco Fan) has extensive flowing range and even functions compared to those of other fans and produces less noise, it is extensively used for air-conditioning or factory. The multi-blade fan was invented by Sam Davidson in England in 1864 and was used in the book by Eck in 1974. It is called squirrel-cage fan, drum-rotor fan, and

FC(Forward-Curved) centrifugal fan in Europe or north America. It is also extensively used for massive work such as air-conditioning of buildings and industrial blowers or for everyday life such as air-conditioners, fan heaters, hair-dryers and automobiles' ventilators in small scale.

In a design of the multi-blade fan, it is important to look at flowing at volute that is inhaled by a multi-blade fan in order to identify its correlations with functions and flowing inhaled by the multi-blade fan attached to automobile indoor air-conditioner within closed square ducts.

This study as a flowing visualization test using PIV visualized velocity vector distribution at normal and compressed flowing and analysed flowing patterns of velocity distribution and re-stress according to change in rotation number of the multi-blade fan (950RPM, 1100RPM and 1250RPM). The results of this study are presented as follows:

(1) The more revolution per minute, the more flowing is inclined to driving motors of multi-blade fan.

(2) This is because of the eccentricity occurring by decreased output of multi-blade fan rather than the centrifugal force occurring during rotation of the driving motor

(3) Maximum stress distribution occurs at a place remote from the driving motor in the horizontal axis at 1250 RPM of rotational number unlike velocity vector.

(4) This is generated by centrifugal force at remote place and differences in pressure according to different structures of forms such as orifice on the wall.

第 1 章　序 論

第 1 節 硏究의 背景과 動向

많은 사람들이 모여 있는 고층건물에서의 생활이 늘어나면서 쾌적한 실내 환경에서 생활하려는 욕구가 증대하고 있다. 쾌적한 실내 환경의 조건에서 가장 중요한 부분을 차지하는 것이 공기조화인데, 실내의 냉방 및 난방을 위한 실내공기의 환기는 필수적이다. 실내의 여러 요인에 의해 오염된 공기를 환기도 필요도 생기게 된다. 실내공기를 환기시키기 위해 일반적으로 공기조화용 송풍기가 사용되는데, 근래 들어 실내 공기조화 시스템의 주요부분으로서의 송풍기의 고성능화, 고효율화 및 저소음화가 많이 요구된다. 특히 유체기계의 소음구조는 내부 유동상태 와 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 송풍기의 내부 유동상태도 매우 중요한 관심사가 된다.

다익팬(Multi-Blade Fan, Sirocco Fan)은 다른 송풍기에 비해 넓은 유량범위와 고른 성능을 가지고, 소음이 적어 공기조화용이나 공장용 송풍기로 널리 쓰이는 송풍기의 한 형태이다. 다익팬은 1864년 영국의 Sam Davidson에 의해 발명된 이래로, 명칭은 1974년 Eck 가 그의 저서 에서 사용했으며, 유럽이나 북미지역에서는 Squirrel-cage fan, 또는 Drum-rotor fan, FC(Forward-Curved) centrifugal fan 등으로 불리고 있다. 다익팬은 건물의 공기조화용, 산업용 blower 등 대용량의 용도로 쓰이고 있는가 하면, 에어콘(air-conditioner), 온풍기, 모발건조기(hair-dryer), 자동차 실내용 송풍기등 비교적으로 소용량의 용도까지 광범위하게 일상생활에 쓰이고 있다.

유체역학에 관련된 기기의 설계 또는 성능향상을 위한 제반 과정 중 가장 기본적인 것은 유동장의 거동을 파악하는 일이다. 이 경우에 눈에 잘 보이지 않는 흐름 중에 추적 입자를 넣고 적당한 조명 을 가한 뒤에 카메라 등으로 순시 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 실용 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. 또한 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 자연대류유동 에 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. 또한 Yun[8]은 곡관 후류에 연결된 직관에서 PIV를 이용하여 속도분포, 운동에너지 및 전단응력에 대해서 연구하였고 Kim[9]은 혈액 유동장에 대한 연구로 폴리우레탄 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.

최근의 연구동향을 종합해 보면 정상유동에 대한 유동장의 형태는 원형관에서 비원형관으로 전환되고 있다. 완전히 발달된 유동영역에서 유동특성보다는 발달과정에 있는 입구유동영역에서 유동특성에 관한 실험적 연구가 많이 진행되고 있지만 특히 정사각 단면덕트의 곡관부에 연결된 직관부의 출구영역에서의 유동특성에 대한 연구는 이루어지지 않은

것으로 생각된다.

다익팬은 원심팬의 일종으로 각종 산업분야에서 뿐만 아니라 일반 실생활에서 널리 쓰이는 유체기계이다. 다익팬은 큰 원주율(diameter ratio)과 상대적으로 큰 폭, 그리고 많은 날개를 가지고 있다. 다익팬은 다른 팬과 비교하여 아주 작은 소음을 내는 장점을 가지고 있다. 그러나 이런 장점에 비해 효율($\eta \approx 50\%$)이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 다익팬은 크게 임펠러와 볼류트(혹은 케이싱)로 이루어져 있다. 다익팬은 흡입구로 유입된 유체는 외부동력원에 의해 회전되는 임펠러로부터 기계적 에너지를 받아 속도에너지가 증가되어 볼류트로 유입된다. 볼류트로 유입된 유체는 볼류트의 단면이 확대되는 방향으로 모여 흘러서 최종적으로 출구를 통해 유출된다. 이 때 볼류트를 통과하는 동안 속도에너지는 정압으로 회복되게 된다. 볼류트의 설계시에 볼류트 외측벽은 점점 확대되는 곡선형태를 지닌다. 실제에서는 이 부분이 날개와 너무 가까우면 진동, 소음의 문제가 발생하므로 컷오프(Cut-off)로 처리한다. 따라서 설계와 실제 볼류트 내의 유동은 차이를 갖게 된다. 다익팬의 설계시에 볼류트에서의 유동현상을 파악하여 성능과의 상관관계와 밀폐된 사각덕트 내에서 자동차용 실내공조기에 부착된 다익팬에 의해서 흡입되는 유동 현상을 밝혀내는 것이 중요하다고 사료된다.

본 실험에서는 구동관로의 유량 및 레이놀즈수를 변화시키면서 PIV를 이용해 얻어진 영상정보를 분석하여 평균속도분포, 응력분포의 유동특성을 고찰하고자 한다.

第 2 節 硏究의 目的

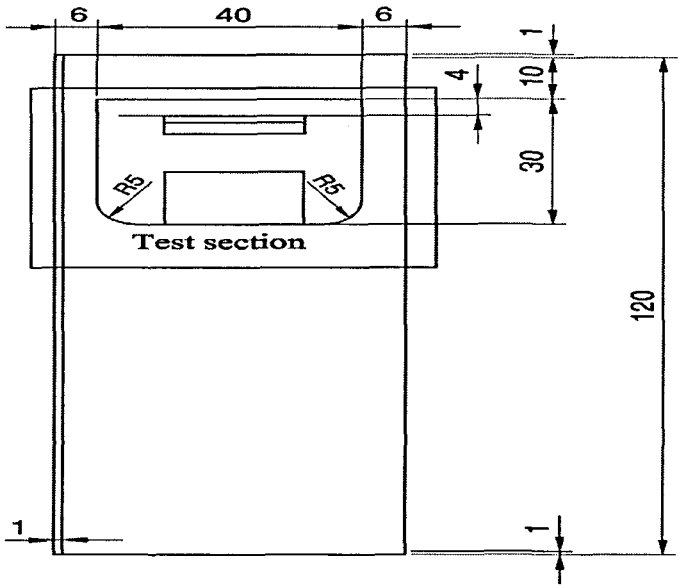


Fig. 1.2.1 Experiment Apparatus and Test section

본 연구는 PIV를 이용한 유동 가시화 실험으로 정상, 비압축성 유동에서의 속도분포를 가시화시킴으로써 자동차용 공조기의 다익팬의 회전수를 3가지로 변화를 주었을 때 Test-section의 총괄적인 평균속도 분포와 335mm지점의 속도분포의 유동현상을 연구를 했다.
본 연구를 위해 사용된 다익팬이 부착된 공기조화기를 쓰며, Fig 1.2.1은 본 실험의 장치의 도면이다. 도면의 치수 단위는 센티미터(cm)이다. 본 실험에서는 구동관로의 유량 및 레이놀즈수를 변화시키면서 PIV를 이용해 얻어진 영상정보를 분석하여 평균속도분포, 응력분포의 유동특성을 고찰하고자 한다. 실험 온도는 20℃에서 ±1℃의 온도차를 유지시켰고, 작동 유체는 공기를 이용하였으며 구동관로에 송풍기를 이용하여 유동시켰다. 가시화 입자는 작동유체의 유동장에 영향을 끼치지 않으면서 Test Section에 충분한 입자분포를 형성시키기 위해 초음파형 가습기를 이용하여 입자를 생성, 주입시켰다.

CCD(Charge-Coupled Device) 카메라에 실제로 측정된 시험부의 Test section은 430mm × 500 mm 으로 잡았으며, 자동차용 공기조화기의 일정한 작동유체의 유동을 유지시키기 위해 220V 정전압 트랜스를 이용하여 다익팬의 RPM을 고정시켰다. 저장된 영상은 matrox (DATA Translation)-256 Grey Level 로부터 아날로그신호를 2차원의 디지털영상정보로 바꾼 후, 각종 자료처리 과정은 전용 소프트웨어 CACTUS3.2를 이용하였다. 이 과정으로 잡음제거, 회전보정, 배경제거를 실행한 후, 계조치상호상관법을 이용한 탐색반경(Searching Area Radius, SAR), 상관영역(Correlation Area, CAS)을 적절히 선택하여 속도분포의 신뢰도를 향상시켰으며, 이때의 탐색영역의 반경은 9~12픽셀로 설정하였다. 시간평균 속도분포를 얻기 위해 45장의 영상을 순차적으로 처리한 후 산술평균 하였다.

第 2 章 理論的 背景

第 1 節 PIV의 理論的 背景 및 速度計算 알고리즘

1. PIV의 理論的 背景

PIV는 시험유체역학의 새로운 기법이며, 이는 유체의 유동속도를 측정하기위해 유동가시화기법과 디지털 화상처리기법의 결합된 기법이다. 입자영상유속계를 이용한 유동가시화는 LDV(Laser Doppler Velocimeter)나 열선유속계와 같은 유속 계측방법과 비교하여 전체 유동장내의 유동특성을 정성적으로 쉽게 재현 할 수 있고 동시다점계측이 가능한 장점을 가지고 있다. 최근 들어 컴퓨터와 화상처리기술의 발달로 인하여 입자영상유속계를 이용한 측정기법 이 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 탐침자가 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 속도 정보로 부터 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 Particle Tracking, DPT) PIV와 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. 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 연산이 필요하다. 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[10]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 벡터수는 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, 또는 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 연속 펄스 또는 긴 유맥선(Streak) 입자영상을 기록한 뒤에 개별 입자의 궤적을 추적한다. 가장 기본적인 방법은 사진을 확대하여 Digitizer 상에서 사람의 눈으로 구별하는 것이나 번거로운 작업이 필요하며 무엇 보다 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, Image board)로부터 이들 입자 궤적의 밝기 정보를 2차원 의 위치(예를 들어 640×480 픽셀) 및 각 픽셀에서의 계조치(보통 256단계) 의 값으로 데이터 파일을 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[11]등은 카메라의 셔터가 개방되는 초기시점에 스트로스코프에 의한 짧은 조명 펄스를 첨가하여 벡터의 시점을 구별하는 기법을 제시하였다.

Grant[12]등은 펄스태깅(pluse tagging)법을 적용하여 방향판별을 하고 있다. 조명부호법은 원리 및 관련장치가 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 추적입자가 주어진 미소시간동안 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[13]가 이에 관하여 체계적으로 설명을 하고 있으며 특히 영상의 기록에 30 Hz의 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[14]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 10^3오더에 머물고 있다. 이 때 얻을 수 있는 최대 계측속도 는 10 ㎧전후라고 보여진다. 다음으로 선택할 수 있는 것이 레이저의 연속광을 단속적으로 절단(Chopping)하여 짧은 펄스조명의 발생을 비디오의 동기신호와 연계시키는 방법이다.

Fig.2.1.1은 AOM의 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 펄스관을 연속적으로 발광시켜서 유동장의 영상을 비디오 방식으로 저장하는 기법이다. 기계적인 초퍼 (Mechanical chopper)방식과 음향광의 회절원리를 이용한 음향광 조절기 (Acoustic Optical Modulator, AOM) 방식으로 대별할 수 있다. 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 성질들이 변하지 않아야 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. 입자선택시에는 유체흐름에 미치는 영향, 관측장에서의 부착성질, 산란광 강도, 인체에 미치는 유해성 등을 고려하여야 한다.

입자선택시 기체는 10 ㎛ 전후의 광란성이 우수한 미소입자를 사용 하는 것이 좋으며, 작동유체의 상태에 따라 기체인 경우에는 액적, 기체, 분말 등을 액체(물의 경우)인 경우에는 나이론12, 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 라이트가 필요하고, 광원으로서는 2차원의 시트 라이트를 제공하기 위한 가시광 레이저(예를 들면, Ar-Ion 레이저)가 효과적이다. 레이저 대신 백색광원을 사용할 수도 있으나 발생열에 의한 유동장의 변동을 억제 시켜야 한다. 광원의 세기는 영상으로 추적입자들을 선명하게 획득할 수 있는 강도를 가져야 한다. 저속액체[1.0 ㎧이하, 유동장의 크기 150×150 (mm)]의 경우에는 500 ㎽ 전후의, 고속기체[10~40m/s, 유동장의 크기 150×150(mm)]의 경우에는 5 W 전후의 레이저를 사용할 수 있으나 저속액체의 경우에는 광원용의 조명 열에 의해 자연대류의 영향이 매우 크므로 유의하여야 한다. 고속유동계측의 경우에는 미소시간간격을 확보하기 위하여 조명의 펄스제어가 필요하며 속도벡터의 추출알고리즘 과 직접적인 관련이 있다. 조명방식은 PIV의 계측 범위를 결정하는 중요한 요소이며, 현재 실용화되어 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 영상내대상체와 배경의 경계 또는 윤곽선을 결정하는 경계탐색, 영상 이분화 작업, 그리고 noise 제거를 수행한다. 영상처리작업이 끝난 뒤 입자추적법을 적용하는 경우에는 각 입자들을 확인하여 입자의 도심을 구한 뒤 미소 시간동안의 입자의 변위를 계산하여 속도벡터를 구한다. 그리고 입자 또는 입자군 (Particle cluster)이 갖고 있는 계조치에 대한 정보와 상관계수를 이용 하여 속도벡터를 구하는 방법이 계조치상관법 (Gray level correlation method)이다. 계조치상관법은 프레임의 수에 따라 단일 프레임법과 다중 프레입법으로 분류한다. 입자추적법과 계조치상관법에 관해서는 보다 개선된 프로그램의 개발을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다

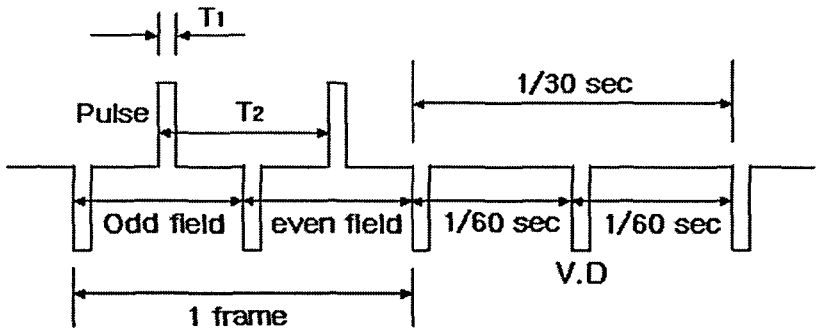


Fig. 2.1.1 Pulse Control of the AOM

2. 速度計算 알고리즘

입자영상유속계의 영상입력장치로 획득한 영상으로부터 processing 과정을 거친 다음 영상처리과정에서 속도를 계산하기 위한 유속측정 알고리즘은 Fig. 2.1.2와 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.

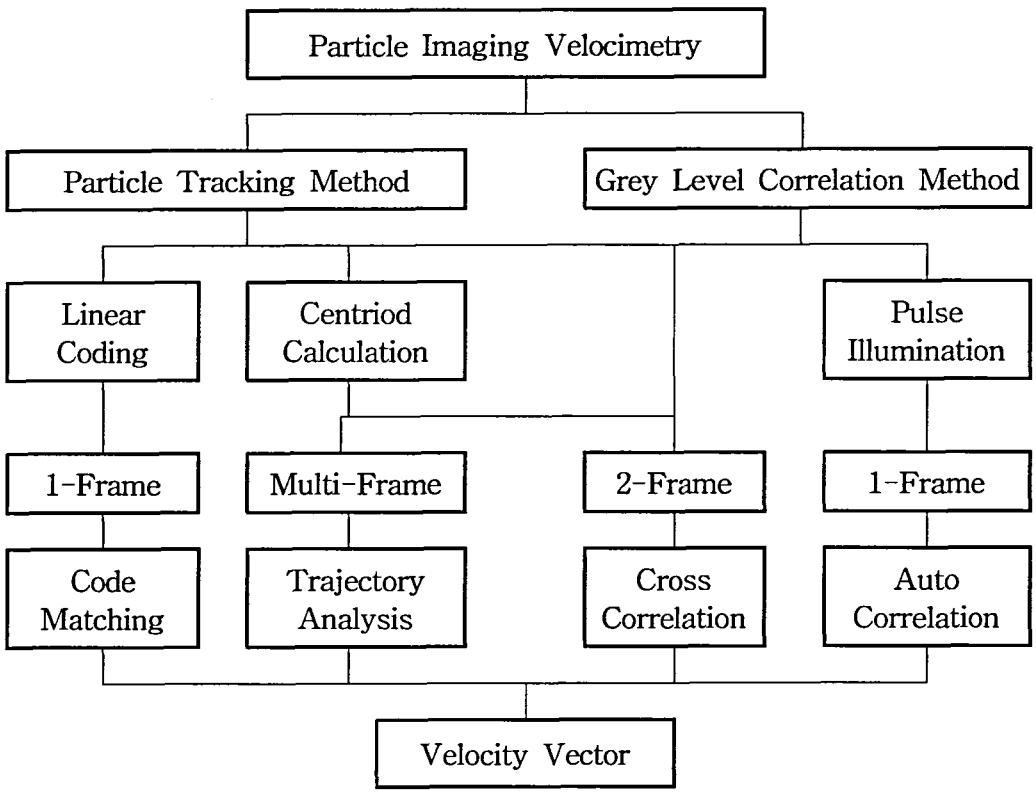


Fig. 2.1.2 Flow Chart of the PIV Classification

가. 입자추적법

입자추적법 중에서 가장 보편적으로 이용되는 기법은 개별도심좌표(Discrete centroid)기법이다. 개별도심좌표 기법은 연속된 두 프레임 또는 그 이상의 프레임에서 개별 추적 입자의 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 단면이탈 입자(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. 계조치상관법

계조치상관법은 순간입자영상을 개별 화상저장매체에 저장하고 각 조사구간내 계조치 분포사이의 상호상관함수를 직접 계산하거나 FFT(Fast Fourier Transform)연산을 이용하여 계산한 후 가장 큰 상호상관계수를 갖는 위치를 프레임 사이의 미소 시간간격(Δt)로 나누어줌으로써 조사구간 내 평균속도분포를 얻어내는 기법이다. 초기에는 2개 이상의 펄스광에 의해 산란된 입자영상을 고속도카메라와 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/N비(Signal-to-Noise ratio)가 낮다는 문제점 이 있었다. 최근 들어 방향의 모호성을 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 개발되어 활용되고 있다.

입자추적이나 입자분포 상관정도에 다른 계조치상관법은 한 장의 영상을 이용하는 1-프레임법과 두 장의 영상을 이용하는 2-프레임법, 그리고 여러장의 영상을 사용하는 Multi-프레임법으로 나누어진다.

다. 1-프레임법

입자추적법이나 계조치상관법중에서 하나의 프레임만을 이용하여 속도벡터를 구하는 방법을 1-프레임법이라고 한다. 1-프레임법은 광의 노출시간을 길게하여 입자들의 Streak을 형성시키는 Streak법과 여러개의 Pulse로 Coding하는 Multi pulse coding법. 그리고 Streak법과 Pulse coding을 혼합하는 방법등이 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-프레임법에 적용하여 속도벡터를 구하는 방법은 Fig. 2.1.3과 같다. Streak와 Dot를 혼합한 방법을 이용할 때 Chopper를 통과하는 광의 주기가 특정한 비를 가지고 있으므로 획득된 영상 내에서 입자들의 형상이 Fig. 2.1.4와 같이 분포하게 된다. 이때 점과 유맥선을 픽셀점의 수로부터 판단하여 각각 분리 저장한다. 저장된 유맥선에 대하여 곡선적합을 실행한 후 얻어진 함수의 방향으로 일정한 거리에 있는 지점에 적당한 크기의 탐색영역을 설정한다. 탐색영역내에 화면주사 방향으로 탐색을 실행하여 영역 내에서 발견된 모든 pulse점에 대한 입자중심의 좌표값에 기억시킨다. 여기에 있는 모든 입자중심의 좌표값에 대하여 평가함수(evaluation function)를 도입하

거나 적절한 알고리즘을 사용하여 종점을 구하게 되고 식 (2-2-1)로 속도벡터를 구하게 된다. 여기서 M은 magnification factor를 의미한다.

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

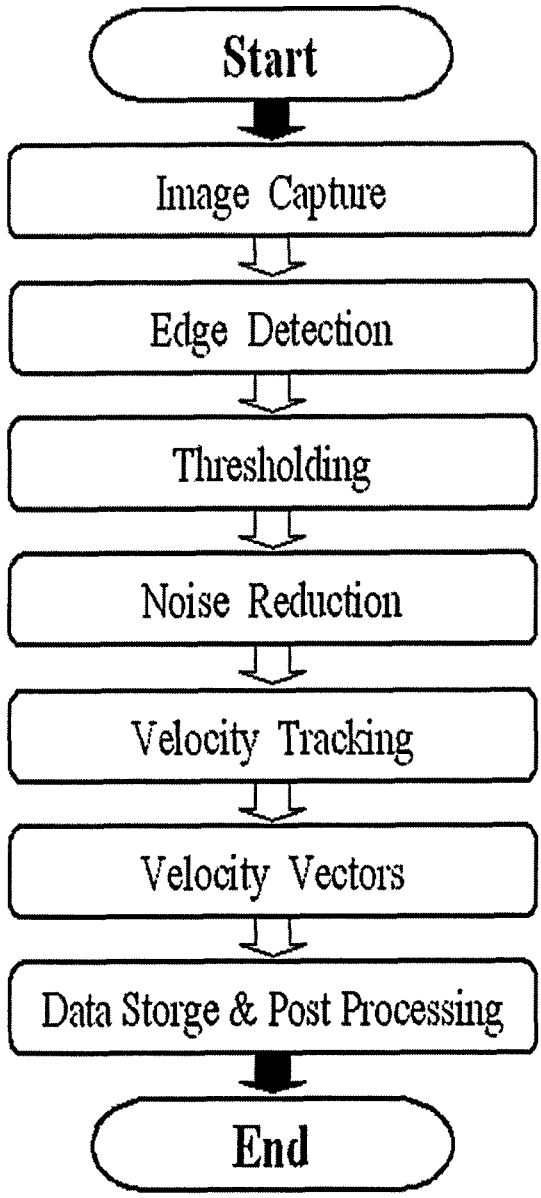
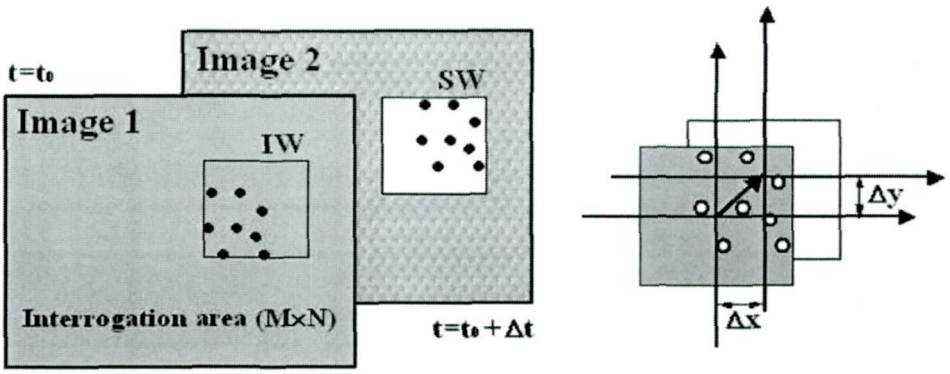


Fig. 2.1.3 Flow Chart of the 1-Frame Method



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

Fig 2.1.4 Velocity vector calculated from a displacement of a small sub-region and known time Δt

라. 2-프레임법

2-프레임법은 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 탐색영역내에 있다고 간주한다. 제 1-프레임과 제 2-프레임의 상관영역내 각 화소(픽셀)의 계조치는 각각 $f(x, y)$와 $g(x, y)$로 나타낼 수 있으며, 이때 f와 g는 다음과 같은 관계를 갖는다.

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

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

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

Fig. 2.1.5에서 $f(x,y)$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 (2-2-3)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. 2.1.6과 같이 최대 상호상관 값의 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 탐색 영역내 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-프레임법에 비해 프레임 수가 줄어들게 되어 이미지 보드(DT-3152)를 이용한 영상처리시 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 떨어지므로 획득한 속도벡터의 정도가 떨어질 우려가 있기 때문이다.

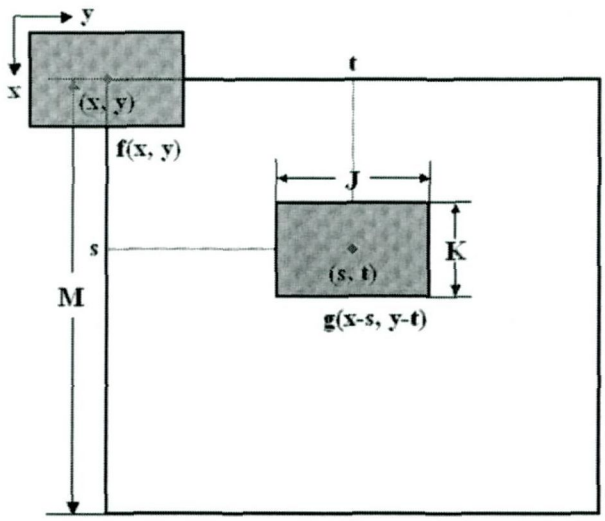


Fig. 2.1.5 Principle of the Grey level cross correlation

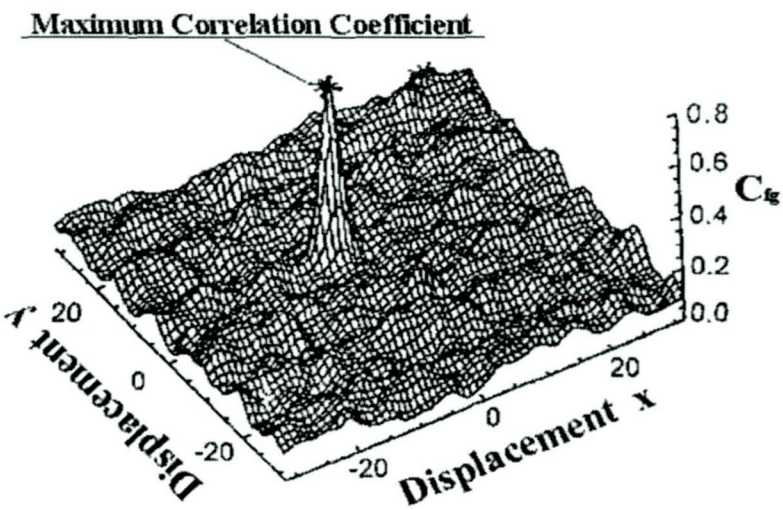


Fig. 2.1.6 Maximum cross correlation coefficient.

第 3 章　實 驗

第 1 節 實驗裝置

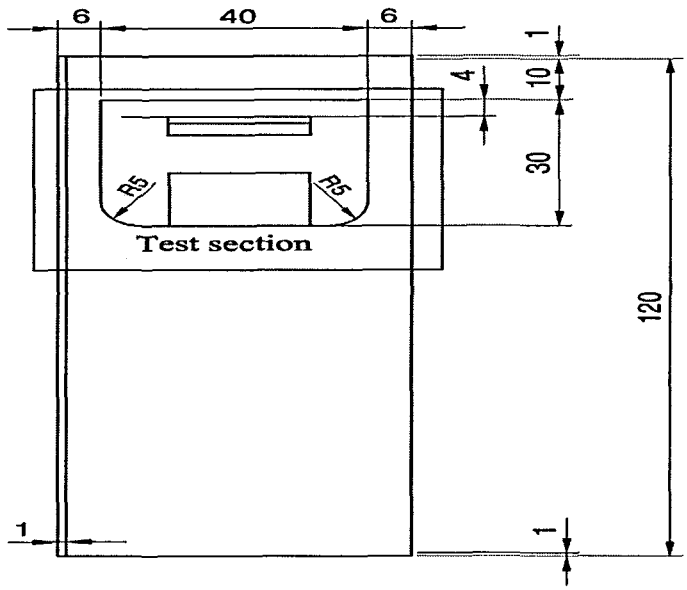


Fig. 3.1.1 Experiment Apparatus and Test section (unit : cm)

Fig. 3.1.1은 본 연구를 위해 사용된 다익팬이 부착된 공기조화기를 도시하였다. 본 실험에서는 구동관로의 유량 및 레이놀즈수를 변화시키면서 PIV를 이용해 얻어진 영상정보를 분석하여 평균속도분포, 응력분포의 유동특성을 고찰하고자 한다.

실험 덕트는 1200*500*500mm(가로*세로*깊이) 크기 이며, 10mm의 두께의 투명 아크릴로 제작하였다. 자동차용 실내 공조기는 다익팬의 가시화적인 유동 특성을 분석하기 위해서 5mm 두께의 투명아크릴로 제작하였다. 가로길이를 1200mm길게 함으로서 충분히 발달된 유동장을 만들기 위해서이다. 공기조화기의 다익팬의 흡입현상에 따른 발달된 유동특성을 분석하기 위해 밀폐된 사각덕트의 크기를 고려해서 만들었다.

第 2 節 資料處理 方法

영상의 입력장치는 PIV의 속도추출기법에 따라서 결정되며 대표적인 입력장치로서 미케니컬 스캐너, CCD카메라, cam corder 및 고속도 카메라 등이 있다. 영상입력의 형태는 유동장의 실시간 정보를 직접 입력하는 경우와 사진으로 유동장의 정보를 수록한 후 미케니컬 스캐너 등에 의해서 입력할 수 있다. 본 실험에서는 고속도 카메라를 사용 하였는데 이는 미캐니컬 스캐너에 비해서 분해능에서는 뒤떨어지지만 가격, 변환성 및 조작성 등의 면에서 우수하고 유동장으로 부터의 정보를 직접 받아들인다는 장점이 있다.

영상처리장치(Image board)는 입력영상데이터를 임시 보관하는 이미지 메모리와 메인 프로세서 및 연산 유니트를 갖추고 있다. 비디오로부터 입력된 칼라신호를 보다 깨끗하게 획득하기 위하여 크로미너스 노치 필터에서 칼라정보를 제거한다. 칼라정보가 제거된 아날로그 신호를 샘플링 하여 A/D 변환기에서 디지털화하며 디지털로의 변환은 플래쉬 변환기에 의해서 행해질 수 있도록 하였다. 전용영상 처리장치는 복수의 영상데이터를 비교, 논리연산, 고속 후리에 변환 등에 풍부한 자체명령어를 이용하여 고속으로 필요한 처리를 수행할 수 있도록 하였다. 보통의 A/D 변환기는 어느 정도 한정된 샘플링 능력을 갖고 있기 때문에 영상신호의 빠르기를 따라잡을 수 있는 고속의 A/D 변환기를 갖추었다. 변환시 입력범위의 Black Level과 White Level을 조절 할 수 있도록 하였다. 이때 입력 영상신호는 A/D 변환기를 거쳐 디지털 정보로 바뀌어 프레임 메모리에 저장되며 출력 LUT를 통과하여 PC의 RAM에 저장된다. DT사의 DT3152 보드를 사용하여 RAM에 저장된 영상 Data를 모니터에 디스플레이하거나 하드디스크에 저장 하였다.

전처리과정은 영상의 질을 개선하거나 영상을 특정한 목적에 맞도록 변환시키는 영상처리로서 유동장의 정보는 픽셀의 위치좌표와 그 농도치로서 주어지게 하였다. 이와 같이 지정된 정보에 대하여 필요에 따라서 잡음제거, 조명의 강약 보정 등의 화질개선이 필요하게 하였다.

화질개선에 이용되는 기법으로서 계조치 변환방법으로 콘트라스트를 강화하기 위하여 픽셀의 출연빈도가 전 계조치에 분포하도록 변환하여 흐릿한 영상에 있어서 물체의 테두리를 뚜렷하게 나타나도록 하였다. 영상입력을 개선하는 첨예화, 영상을 입력시키는 기계장치와 입력과정 등에서 발생하는 잡음을 제거하는 평활화계조치를 갖는 농담영상을 역치에 의해 0과 1을 2치화 등이 있는데 2치화는 유동장의 영상해석에 있어서 전처리과정으로 사용하였다.

第 3 節 PIV 實驗計測

1. PIV計測

실험 온도는 20℃에서 ±1℃의 온도차를 유지시켰고, 작동 유체는 공기를 이용하였으며 구동관로에 송풍기를 이용하여 유동시켰다. 가시화 입자는 작동유체의 유동장에 영향을 끼치지 않으면서 Test Section에 충분한 입자분포를 형성시키기 위해 초음파형 가습기를 이용하여 입자를 생성, 주입시켰다. CCD 카메라에 실제로 측정된 시험부의 Test Section은 430mm × 500 mm 으로 잡았으며, 고속의 유동영상을 획득하기 위하여 AOM(Acoustic Optical Modulator)에 의하여 단속된 조명으로 촬영한영상은 CCD 카메라의 홀수 필드와 짝수필드에 각각 입력된다.

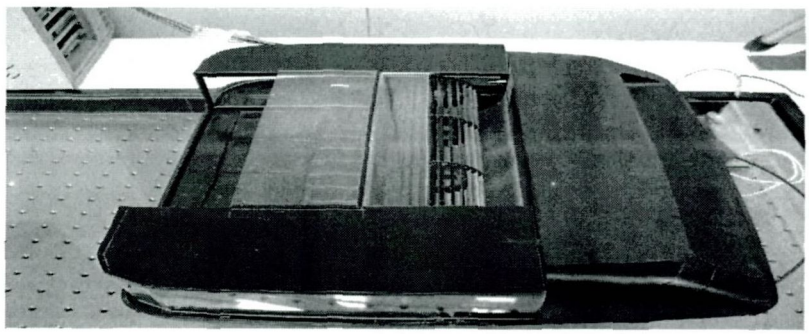


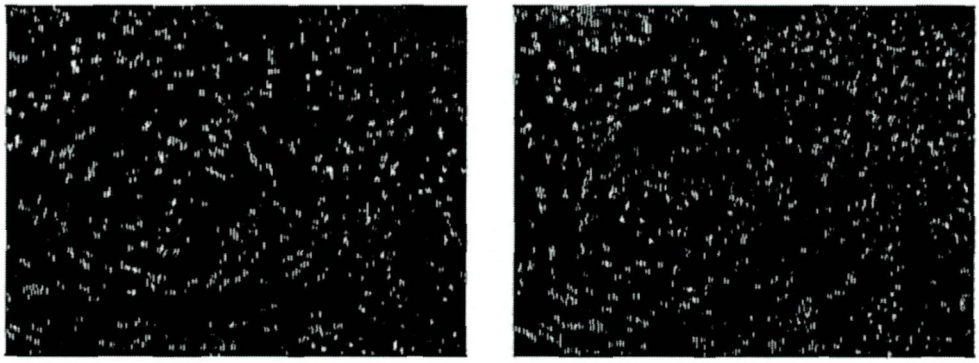
Photo. 1 Experiment PIV System

본 실험의 가시화를 위해 사용된 장비는 Table 1과 같으며 고속도계측을 위해 조명과 카메라의 동기화를 시켰으며 AOM을 이용하여 적절한 시간 간격을 설정하였다. 자동차용 공기조화기의 일정한 작동유체의 유동을 유지시키기 위해 220V 정전압 트랜스를 이용 하여 다익팬의 RPM을 조절하였다.

실험 조건은 자동차용 공지조화기의 다익팬 회전수를(950RPM, 1100RPM, 1250RPM) 변화시켜 가면서, Test section 영상을 취득하였다. 저장된 영상은 matrox (DATA Translation)-256 Grey Level 로부터 아날로그신호를 2차원의 디지털영상정보로 바꾼 후, 각종 전처리 과정은 전용 소프트웨어 CACTUS3.2를 이용하였다. 이 과정으로 잡음제거, 회전보정, 배경제거를 실행한 후, 계조치 상호상관법을 이용한 탐색반경(SAR), 상관영역(CAS)을 적절히 선택하여 속도벡터의 신뢰도를 향상시켰으며, 이때의 탐색영역의 반경은 9~12픽셀로 설정하였다. 또한 시간평균 속도벡터를 얻기 위해 45장의 영상을 순차적으로 처리한 후 산술평균하였다.

Fig 3.3.1는 PIV의 원시파일을 나타낸 것으로 본 실험은 고속도 카메라를 사용하여 유동을 촬영했지만, 유량변화량 값들이 그다지 크지 않기 때문에 일반 CCD카메라와 같은 분석을 위해서 Field Selection에서 1st Frame에 Odd와 Even를 선택하여 입자의 최대 이동거리와 계조치상호상관법(grey-level cross correlation algorithm)을 적용하였다.

Photo 2에서는 PIV실험과정을 담은 사진을 나타내었고 Photo 3은 실험 데이터의 획득과 처리를 행하는 system 사진이다. Fig. 3.3.2은 PIV system 개략도이다.



(a) 1st frame (odd) (b) 2nd frame (even)

Fig. 3.3.1 Raw Image maps for the Developing Transitional Steady Flow

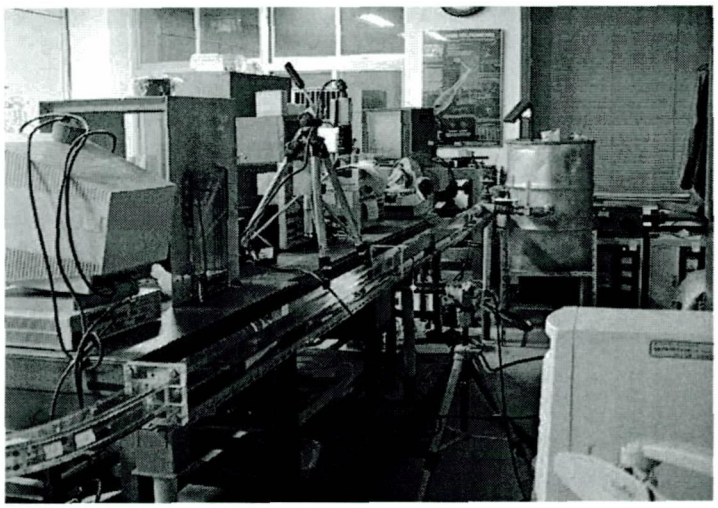


Photo 2 Experimental Equipments of PIV and Test duct

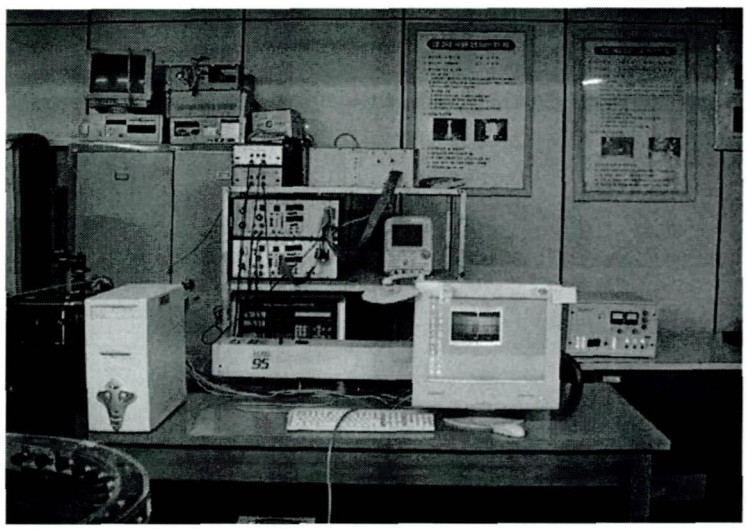


Photo 3 Data Acquisition and Processing System of PIV

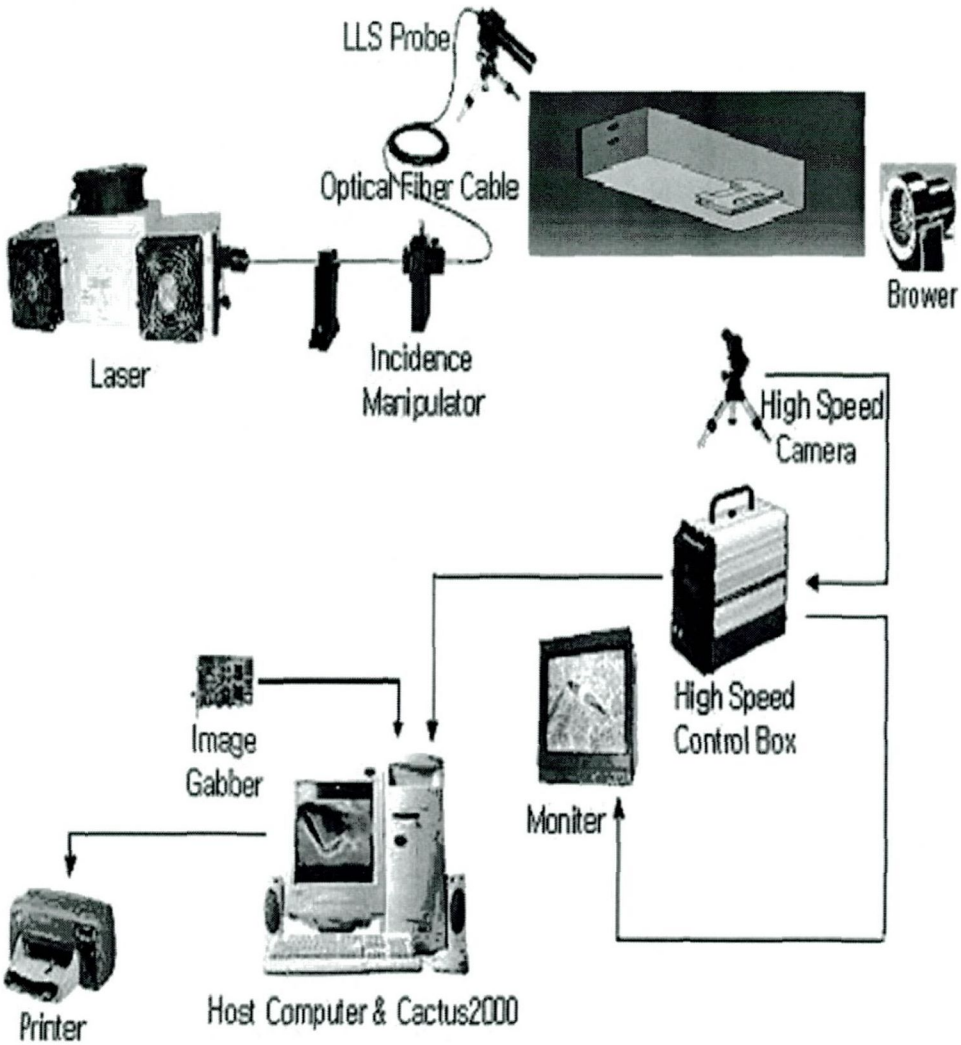


Fig. 3.3.2 Schematic Diagram of the PIV System

Fig. 3.3.2는 실험에 사용하게 될 PIV 시스템의 대략적인 도해를 나열한 것이다. 먼저 구동관로의 직경에 대해 입구조건의 유량을 일정하게 유지시키기 위해 정전압을 이용한 제어로 송풍기로부터 나오는 유체의 속도를 일정하게 유지 시켰으며 구동관로의 팬에 초음파 입자 발생기를 이용해서 수증기 입자를 송풍기에 주입시켰다. Test Section에 산란되는 입자를 가시화 시키고, 계측영역을 Sheet화 시켜 평면광을 만들어 내기 위해 Argon-Ion 레이저와 LLS Probe(Laser Light Sheet Probe)를 사용하여 두께 약 3mm의 Sheet Light를 해석영역 구간 내에 조명시켰다. 조명시킨 Test Section 구간은 고속도 카메라를 이용하여 프레임 시간을 적절히 조정하여 영상을 획득하여 Control Box에 저장시킨 후, 영상정보의 질을 확인한 후, 원시영상을 디지털 신호로 변환시키기 위해 A/D 변환 이미지 그래버를 사용하였다. 디지털 신호로 변환시킨 영상 파일은 Frame 영상을 Field 분할하여 계조치 상호상관법을 적용시켜 입자에 대한 농도 분포를 분석하여 유동에 대한 속도분포를 추출하였다.

사용된 장비에 대한 세부 장치들에 대한 설명은 Table 1에도시하였다.

Table 1 Experimental Conditions of the Flow Visualization Tests

	Item	Specification
PIV System Equipments	Sirocco Fan	Max : 1450RPM, 횡길이 : 240mm 직경 : 70mm
	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	Pantium IV PC (CPU 2.54 GHz RAM 1G)
	Software	CACTUS'3.2 (Cross-Correlation Algorithm)

第 4 章 結果 및 考察

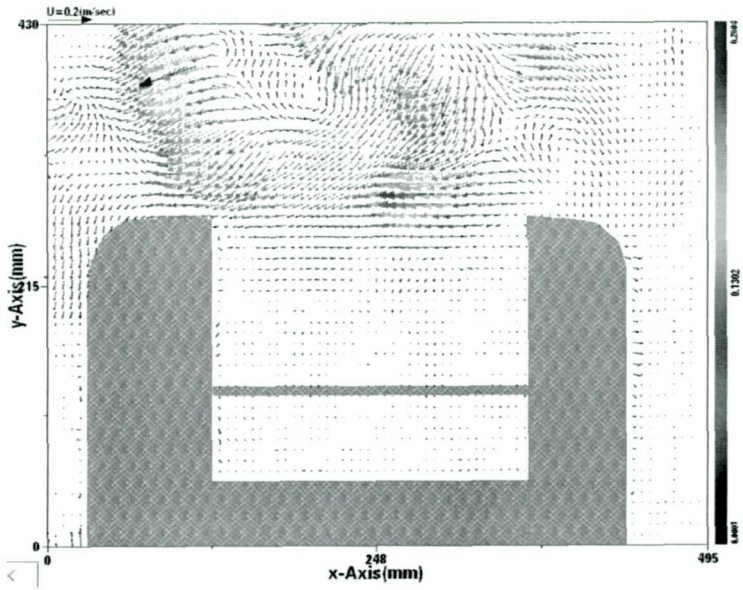
第 1 節 速度分布에 대한 考察

Fig. 4.1.1 과 Fig. 4.1.2 에서는 자동차용 공조기의 다익팬의 회전수를 3가지로 변화를 주었을 때 Test-Section의 총괄적인 평균속도벡터분포와 335mm 지점의 속도파일의 유동현상을 보여주고 있다. Fig. 4.1.1 에서 회전수를 증가할수록 다익팬의 구동모터가 있는 쪽으로 유동이 편중되는 것을 알 수 있다. 이것은 구동모터가 회전하면서 발생되는 원심력보다는 구동 모터가 장착된 횡축 쪽에서 거리가 멀어질수록 다익팬의 출력 저하로 인해서 발생되는 편심 현상으로 사료된다. 회전수가 증가할수록 자동차용 공기조화기 외부주변에 와도의 분포가 뚜렷하게 발생되어지며, 특히 공기조화기 옆 벽면 쪽으로도 와도가 크게 발생되어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 공조기의입구 쪽으로 갈수록 공조기의 외부단면과 밀폐된 사각단면의 벽면의 크기가 감소함에 따라 Ejector와 같은 형태 구조에 따른 단면적의 차이에 의한 압력차에 의해서 나타나는 현상과 작업유체가 밀폐된 사각덕트 내에서 순환하면서 공기 입자와 입자들의 충돌로 인해서 발생된다고 사료된다. 공기조화기 내부의 벡터분포가 또렷하게 나타나지 않는 이유는 LLS PROBE에서 나오는 레이저 빛이 처음 밀폐된 사각덕트 아크릴과 공기조화기 벽면의 아크릴등에 의해서 레이저 빛의 굴절과 레이저 가시화 빛의 출력의 효율의 저하 같은 원인 등으로 발생되는 현상이라고 사료된다. Fig. 4.1.2 에서 335mm지점은 3가지 다익팬의 회전수의 변화를 주었을 때 각각의 속도벡터의 최대속도가 발생되는 지점이다. 다익팬의 회전수가 950RPM에서는 다익팬의 모터가 부착된 지점에서 큰 속도벡터가 발생 되며, 나머지 지역에서는 밀폐된 사각덕트에 유동이 전반적으로 편중되지 않고 안정적으로 분포됨을 알 수 있으며, 이것은 다익팬의 회전수에 따른 출력이 밀폐된 사각덕트의 크기와

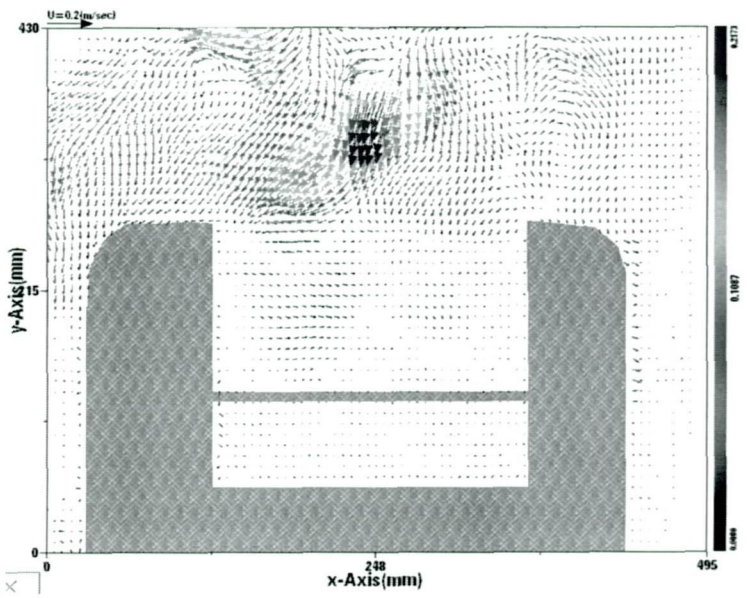
흡입되는 공기유동에 대해서 다익팬 모터의 구심력에 의한 편심이 작게 발생되는 현상으로 생각된다.

다익팬의 회전수가 1100RPM, 1250RPM 으로 증가 되었을 때 유동이 다익팬의 횡류쪽 중앙에서 최대 속도벡터가 나타남을 알 수 있다. 1100RPM 에서는 유동분포가 매우 안정적으로 분포됨을 알 수 있으며, 이것은 1100RPM 이 본 실험의 자동차용 공기조화기 실험장치 임계 회전수라는 것을 알게 해 준다.

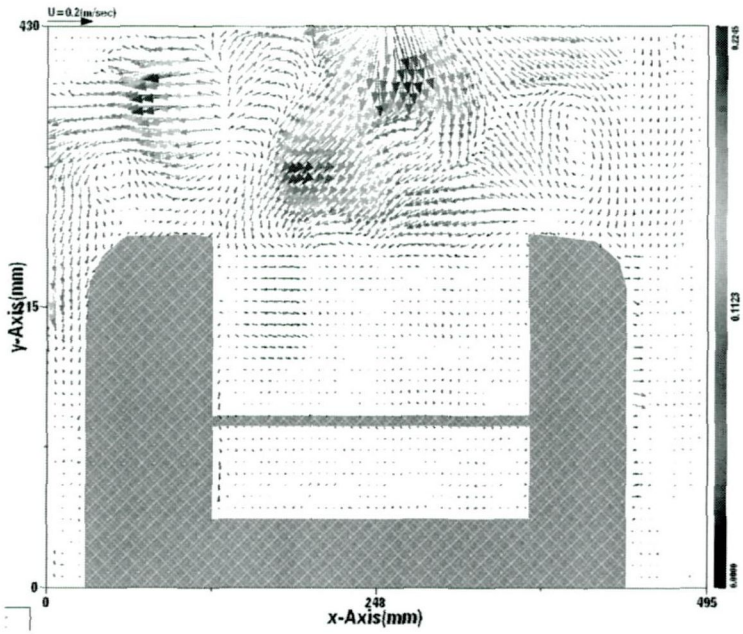
Fig 4.1.1과 마찬가지로 Fig 4.1.2에서 회전수가 증가 할수록 다익팬의 구동모터가 있는 쪽으로 유동이 편중되는 것을 알 수 있으며, 구동모터 반대 벽면 보다 더 큰 속도분포가 발생함을 확실하게 알 수 있다.



(a) 950 RPM

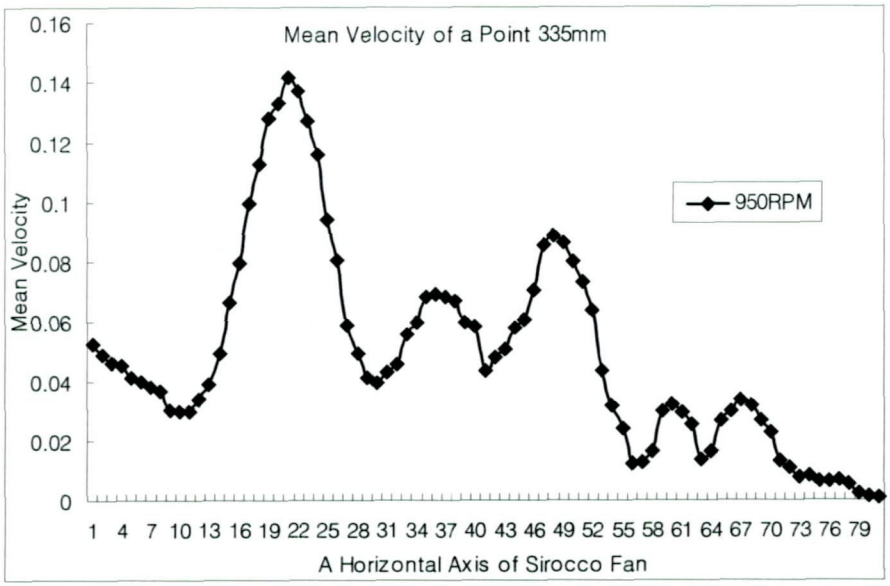


(b) 1100 RPM

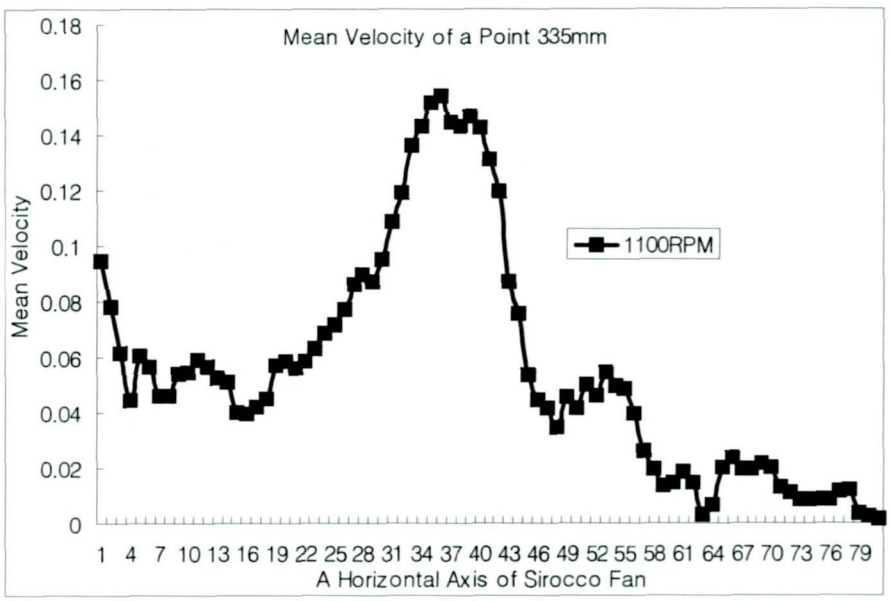


(c) 1250 RPM

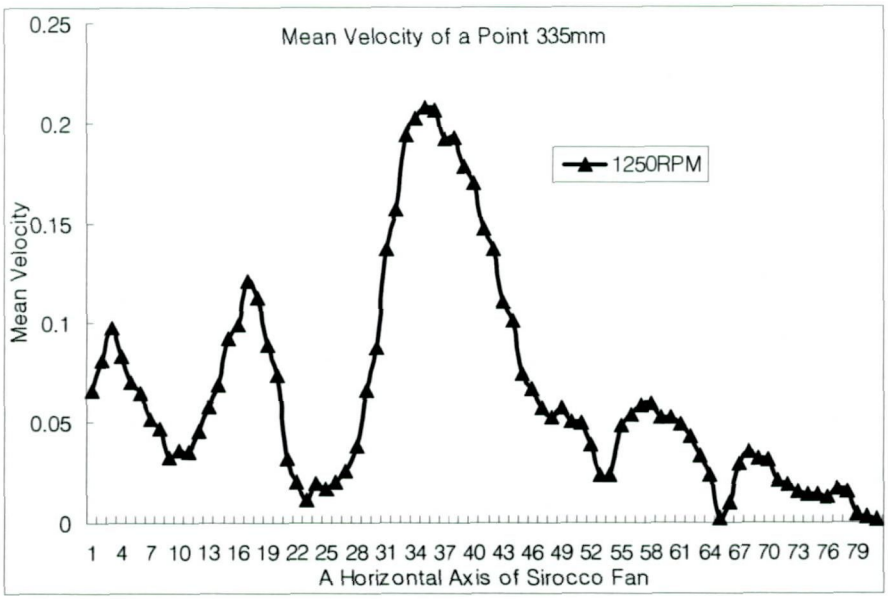
Fig. 4.1.1 Mean Velocity Distributions



(a) Re 565



(b) 1100 RPM

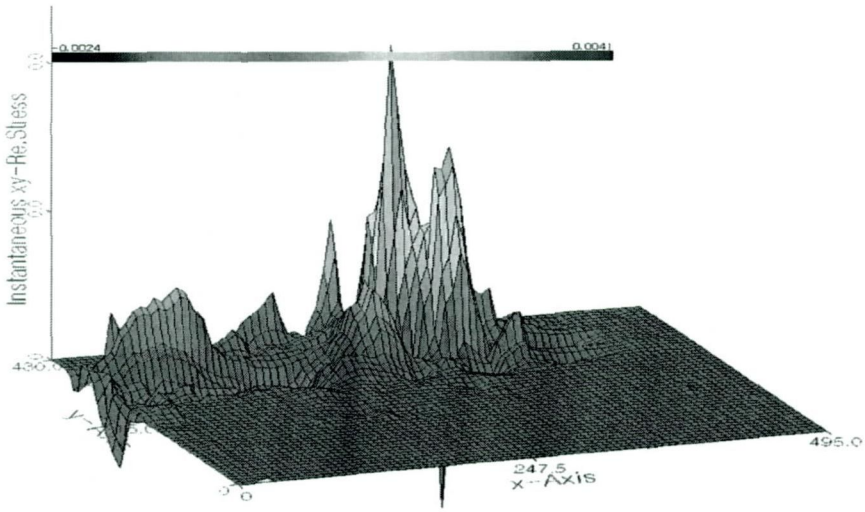


(c) 1250 RPM

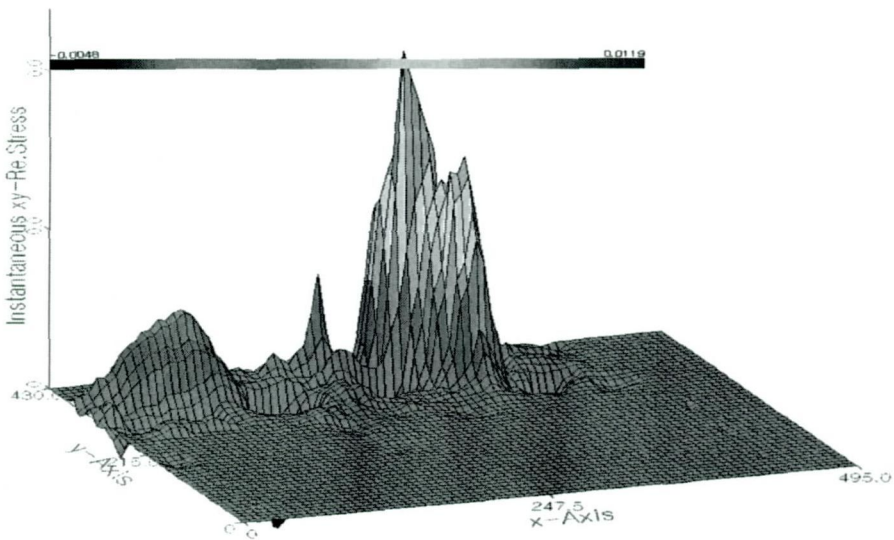
Fig. 4.1.2 Mean Velocity of a Point 335mm

第 2 節 應力分布에 대한 考察

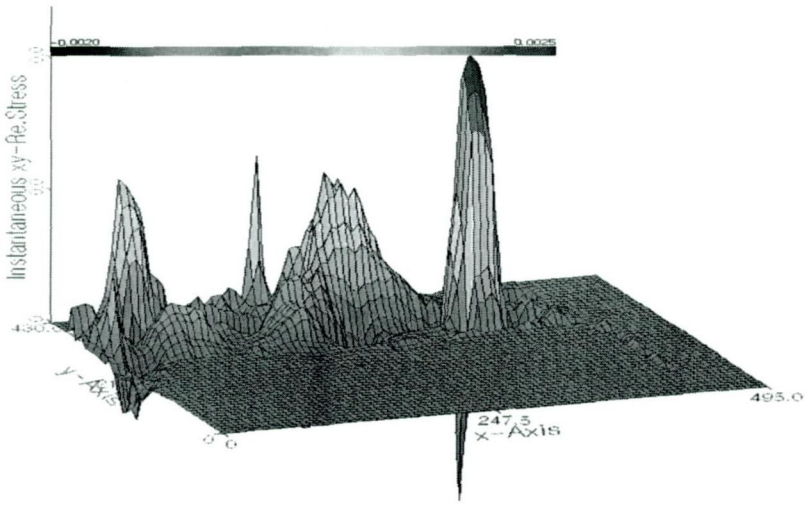
Fig 4.2.1과 Fig 4.2.2 는 순간 XY-Reynolds Stress 응력을 보여 주고 있다. 응력분포도 회전수가 증가 할수록 구동모터가 있는 쪽으로 응력이 편중되는 것을 알 수 있다. 이것은 속도분포와 마찬가지로 구동모터의 출력에 따른 다익팬의 구동모터의 횡축 쪽에서 거리가 멀어질수록 출력 저하로 인한 현상으로 사료된다. 그러나 속도벡터와 달리 회전수 1250 RPM 에서는 구동모터의 횡축쪽에서 거리가 먼 곳에서 최대 응력분포가 발생되었는데, 이것은 구동모터쪽의 최대 속도벡터가 발생함에 따라 상대적으로 구동모터의 횡류쪽에서 거리가 먼 곳에서 원심력에 의한 큰 와도가 분포하여 나타나는 현상이라고 사료된다. 마이너스 응력값이 보여주는 것은 속도분포에서 속도벡터의 방향에 의해서 나타나는 현상이다.
공기조화기 내부의 벡터분포와 구동모터의 횡류쪽에서 거리가 멀어질수록 응력분포가 뚜렷하게 나타나지 않는 이유는 LLS PROBE에서 나오는 레이저 빛이 처음 밀폐된 사각덕트 아크릴과 공기조화기 벽면의 아크릴 등에 의해서 레이저빛의 굴절과 레이저 가시화 빛의 출력의 효율의 저하 같은 원인 등으로 발생되는 현상이라고 사료된다.



(a) 950 RPM

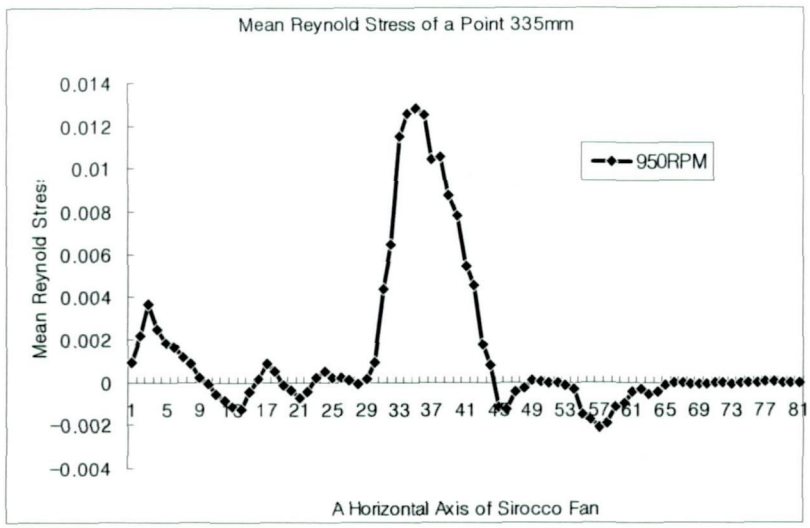


(b) 1100 RPM

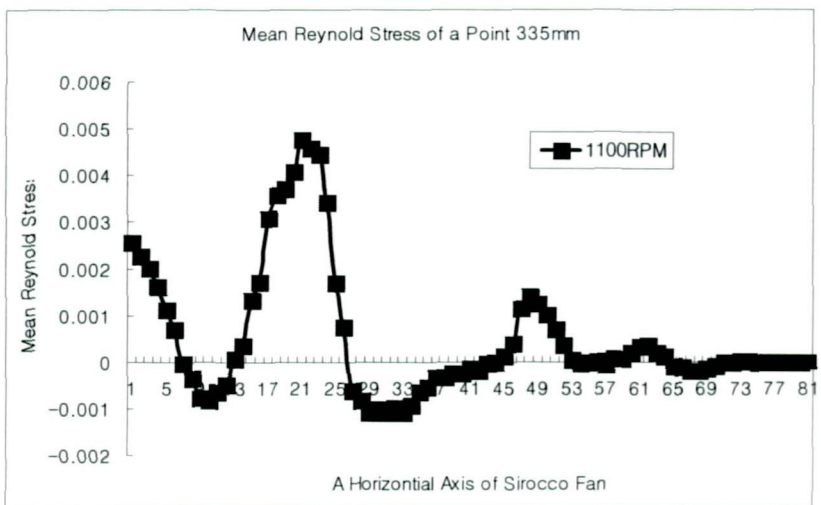


(c) 1250 RPM

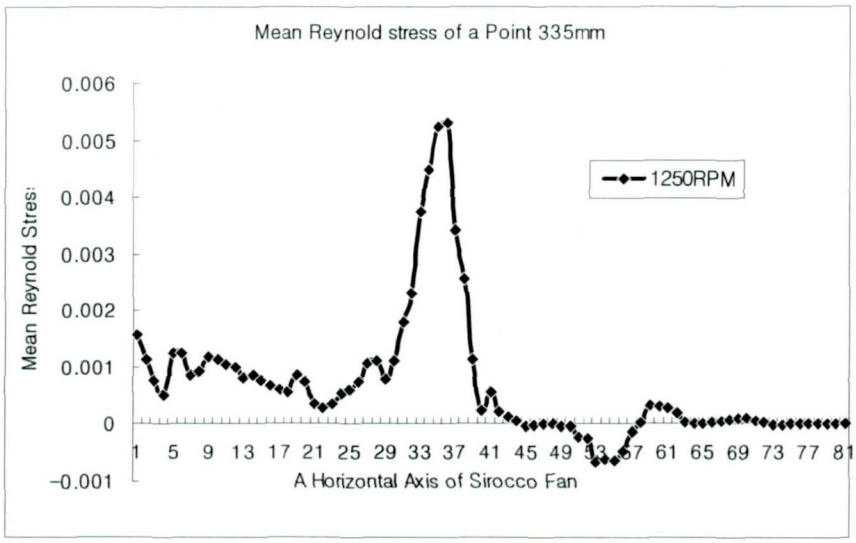
Fig 4.2.1 XY-Reynolds Stress Distribution of Multi-Blade Fan for Air Controller



(a) Re 565



(b) Re 645



(c) Re 743

Fig 4.2.2 Velocity Profile of Multi-Blade Fan for Air Controller

第 5 章　結　論

본 연구는 PIV를 이용한 유동 가시화 실험으로 정상, 압축성 유동에서의 속도분포를 가시화시킴으로 다익팬의 회전수변화(950RPM, 1100RPM, 1250RPM)에 따른 속도분포의 유동 패턴과 Reynolds-Stress를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 회전수를 증가할수록 다익팬의 구동모터가 있는 쪽으로 유동이 편중된다.

(2) 구동모터가 회전하면서 발생되는 원심력보다는 다익팬의 출력 저하로 인해서 발생되는 것은 편심 현상 때문이다.

(3) 속도벡터와 달리 회전수 1250 RPM 에서는 구동모터의 횡축쪽에서 거리가 먼 곳에서 최대 응력분포가 발생한다.

(4) 구동모터의 횡류 쪽에서 거리가 먼 곳에서 원심력과 벽면에서 오리피스와 같은 형태 구조에 따른 압력차에 의해서 발생하는 현상이다.

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 Univ.*, 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. 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.

11. 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, Program Press,* 729~734, 1985.
12. Grant. and Liu. A., "Directional Ambiguity Resolution in Particle Image Velocimetry by Pulse Tagging", *Exp. in Fluids, Vol. 10,* 71~76, 1990.
13. Willert, C. E., and M.Gharib.. "Digital Particle Image Velocimetry", *Exp. in Fluids, Vol. 10,* 181~193, 1991.
14. Adrian, R. J.. and Keane, "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics", *Annu. Rev. Fluid Mech., Vol. 23,* 261~304, 1991.
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. B. G., Cho, "A Study on Flow Characteristics of Laminar Steady and Unsteady flow in a Square-Sectional 180°Curved Duct", *Ph.D Thesis. Chosun Univ.,* 1995
18. 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.

감사의 글

먼저 이 논문이 완성되기까지 많은 관심과 격려로 늘 변함없이 따뜻하게 지도해 주신 이행남 교수님께 진심으로 감사드립니다.
조선대학교 교육대학원에 입학한 것이 엊그제 같은데 벌써 졸업을 준비하게 되었습니다. 이렇게 빠르게 느껴지는 것은 학교생활이 저에게는 무척 소중하고 값진 것이었기 때문일 것입니다. 무사히 졸업을 할 수 있게 된 것을 뒤돌아보면 그동안 저를 도와준 많은 고마운 분들이 계셨다는 것을 다시금 생각하게 합니다.

좁은 지면에 그분들을 일일이 열거하면서 감사의 마음을 전하지는 못하지만 이 모든 것이 결코 저 혼자의 힘만으로 된 것이 아니었음을 고백하지 않을 수 없습니다. 제가 기계, 금속에 대한 폭넓은 식견을 가질 수 있도록 도움을 주셨을 뿐만 아니라 저의 미흡한 논문을 자상하게 심사해 주시고 방대한 여러 분야를 체계적으로 정리해 주신 박길문, 모양우 교수님 교수님께 머리 숙여 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 실험을 위해 여러 가지로 도와준 유동가시화 실험실의 강현준 조교외 여러 조교님들께 감사드립니다.

대학원 생활을 하면서 배운 기계, 금속에 대한 지식 못지않게 더욱 값진 것은 교수님들은 물론 2004학번 동기인 신동현, 송민호 형님들, 그리고 김재근 형님과 김미현, 김종길 후배들님과 인간적인 교류를 하면서 돈독한 유대감을 형성하고 따뜻한 마음을 배운 점입니다.

끝으로 여러 가지로 아낌없는 지원과 믿음으로 지켜봐 주신 부모님과 형제들에게 고마움과 사랑의 마음을 전하며 오늘의 작은 결실에 자만하지 않고 계속 정진하면서 교육에 대한 꿈을 키우며 살아가도록 하겠습니다.