

5공 피토관에 의한 측정방법 및 측정사례

김 진형, 주 원구, 조 강래
 (연세대학교 기계공학과)

1. 서론

유체기계의 성능과 특성을 파악하기 위해서는 실제 유동장을 측정하는 것이 중요하다. 유동장을 측정하는 장치에는 LDV(laser doppler velocimeter), 열선 풍속계(hot-wire anemometer), 다공 피토관(multihole pressure probe) 등이 있다. LDV는 laser의 doppler 효과를 이용한 것으로 유동장 내에 측정소자를 삽입하지 않으므로 유동을 교란시키지 않고, 유동장의 공간적인 분해능이 좋으나, 실험장치와 유체가 투명하고, 유체내에 측정입자가 공급되어야 하며, 가격이 비싼 것이 단점이다. 열선 풍속계는 열선에서 속도 V 의 유체에 의해 냉각되는 열량과 열선의 저항 또는 전압과의 관계를 이용하여 유속을 측정하는 장치로서 응답시간이 빨라서 난류나 비정상 유동처럼 특성이 급격히 변하는 유동의 측정에 적합한 장치이다. 그러나, 센서를 유동내에 집어넣어야 하므로 센서가 유동을 방해할 수 있으며, 센서가 약하므로 파손되기 쉽고, 따라서 고속유동의 측정에는 적합하지 않다. 또 센서가 오염되기 쉬우므로 신뢰할 만한 결과를 얻기 위해서는 상당한 주의가 요구된다. LDV가 출력 전압과 속도와의 관계가 선형적으로 변하는 것에 비해 열선 풍속계에서는 비선형적으로 변하므로 속도를 측정하기 위해서는 선형기(linearizer)를 사용하는 것이 편리하다. 다공피토관은 각각의 구멍에서의 압력 측정에 의해 유속을 측정하는 장치이다. 적절한 측정기법을 사용하면 흐름특성을 정확히 파악할 수 있으나, 각 구멍에서의 압력이 압력계까지 전달되는데 어느정도의 시간이 소요되므로 난류처럼 유동 특성이 심하게 변하는 유동장 측정에는 적합하지 않고, 단지 시간에 대한 평균 특성만을 측정할 수 있다. 또 어느정도 이상의 압력이 되어 측정이 가능하므로 아주느린 저속유동 측정에는 적합하지 않다. 그러나 LDV와 열선 풍속계가 유속만을 측정할 수 있는데 비해, 다공 피토관은 정압, 총압, 유속을 모두 측정할 수 있기 때문에, 항공기나 자동차 등의 후류에서의 압력손실이나 유체기계의 성능을 측정하는데 사용된다.

2. 5공 피토관의 검정 및 측정방법

2.1 5공 피토관의 유동측정 원리

5공 피토관은 Fig.1에서와 같이 중앙에 1개의 구멍과 좌우대칭 2개, 상하대칭으로 2개의 구멍이 있다. 속도와 각도를 알고 있는 유동장내에 5공 피토관을 설치하고, 그 위치에서의 유동속도 V 와 피토관이 이루는 2개의 각, 요우각(yaw angle, α)과 피치각(pitch angle, δ)의 조합에 대하여 5개 구멍의 압력을 측정하여 검정곡선을 완성한다. 그 다음에 측정하고자 하는 유동장에 5공 피토관을 위치시켜 5개 구멍의 각 압력을 측정하게 되면 검정곡선으로부터 유동방향과 크기를 역으로 알아낼 수 있는 것이 5공 피토관의 측정 원리이다. 검정곡선을 구하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 연구에서는 검정이 용이하고 속도, 각도의 역산이 비교적 정확한 Matsunaga 등이 제시한 5공 피토관의 검정방법을 소개한다. 본 실험에 사용한 5공 피토관의 형상 및 numbering system과 notation을 Fig.1에 제시하였다.

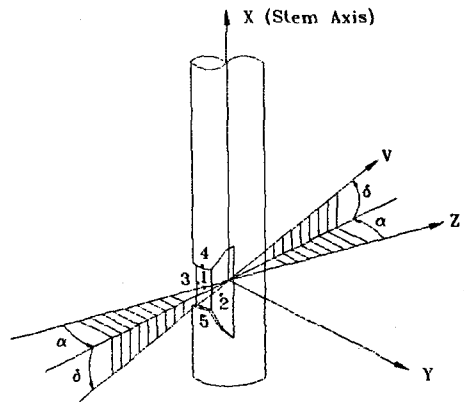


Fig.1. 5-hole pitot tube configuration and coordinate system

2.2 5공 피토편의 검정

특성을 알고있는 유동장내에 5공 피토편을 설치하고 그 위치에서 몇가지 속도 V와 한 속도마다 여러개의 피치각과 요오각에 대한 5공 피토편의 5개의 구멍에서의 압력을 측정한다. 5개 구멍으로 측정된 각 압력을 P_i , 측정점에서의 정압을 P_s 라고 할 때 압력회복계수(pressure recovery factor) C_{pr} 는 다음과 같이 정의된다.

$$C_{pr} = \frac{P_i - P_s}{\rho V^2 / 2} \quad (1)$$

각각의 피치각과 요오각에 대하여 구한 5개 구멍에서의 압력값을 이용하여 C_{pr} 를 계산하여 검정곡선을 구한다.

피토편 직경에 대한 레이놀즈수가 $4,000 \sim 1.5 \times 10^5$ 이면 압력회복계수 C_{pr} 는 요오각 α 와 피치각 δ 만의 함수로 표시될 수 있다.

$$C_{pr} = f_i(\alpha, \delta) \quad (2)$$

한편, 주유동이라고 가정되는 방향(즉, 1번 구멍의 압력이 가장 크게 나타날때는 1번 구멍의 방향이 주유동 방향이라고 생각할 수 있다.)으로의 압력회복계수 차이의 비를 다음의 압력회복계수비(pressure recovery factor ratio)로 정의한다.

$$\begin{aligned} X &= (C_{pr} - C_{pr}) / \Delta C_{pr} \\ Y &= (C_{pr} - C_{pr}) / \Delta C_{pr} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$$\Delta C_{pr} = \begin{cases} C_{pr} - C_{pr} & (C_{pr} \geq C_{pr}) \\ C_{pr} - C_{pr} & (C_{pr} \leq C_{pr}) \end{cases} \quad (3-a)$$

이고

$$\Delta C_{pr} = \begin{cases} C_{pr} - C_{pr} & (C_{pr} \geq C_{pr}) \\ C_{pr} - C_{pr} & (C_{pr} \leq C_{pr}) \end{cases} \quad (3-b)$$

이다. 그리고, 식 (2)의 α 와 δ 는 압력회복계수비들과 다음과 같은 함수 관계를 갖는다.

$$\alpha = f_\alpha(X, Y) \quad (4)$$

$$\delta = f_\delta(X, Y)$$

식 (2)와 식 (4)의 관계를 구하기 위하여 Matsunaga 등은 α 와 δ 는 다음과 같이 X와 Y의 분리함수로 표시된다고 가정했다.

$$\alpha = F_\alpha(X) G_\alpha(Y) \quad (5)$$

$$\delta = F_\delta(X) G_\delta(Y)$$

따라서 C_{pr} 는 다음과 같이 제시될 수 있다고 하였다.

$$C_{pr} = F_i(\alpha) G_i(\delta) \quad (6)$$

여기서 함수 $F_\alpha, G_\alpha, F_\delta, G_\delta$ 및 F_i, G_i 는 모두 5차 다항식으로 가정한다.

$$\begin{aligned} C_{pr} &= (a_1 + a_2\alpha + a_3\alpha^2 + a_4\alpha^3 + a_5\alpha^4 + a_6\alpha^5) \\ &\quad \times (b_1 + b_2\delta + b_3\delta^2 + b_4\delta^3 + b_5\delta^4 + b_6\delta^5) \end{aligned}$$

윗 다항식의 모든 계수는 검정용 유동장에서 피치각 δ 와 요각 α 를 기준으로하여 최소자승법(least square method)을 이용하여 결정한다.

계수가 검정실험에서 결정되면 임의 유동장에서의 속도 V와 정압 P_s 는 측정압력과 검정곡선을 사용해서 다음 식에 의해 결정된다.

$$V = \sqrt{\frac{2[P_1 - \min(P_2, P_3)]}{\rho [C_{pr} - \min(C_{pr}, C_{pr})]}} \quad (7)$$

$$P_s = P_1 - C_{pr} \frac{\rho V^2}{2} \quad (8)$$

또 좌표축방향의 속도 성분은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} V_x &= V \sin \delta \\ V_y &= V \cos \delta \sin \alpha \\ V_z &= V \cos \delta \cos \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

위의 계산과정을 정리하면 Fig.2와 같다.

Measurement of Hole Pressure
 P_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)

Calculation of Pressure Ratio

$$X = \frac{(P_2 - P_3)}{P_1 - \min(P_2, P_3)}$$

$$Y = \frac{(P_4 - P_5)}{P_1 - \min(P_4, P_5)}$$

Calculation of Flow Angle α , δ and Pressure Recovery Factor

$$\alpha = F_\alpha(X) \cdot G_\alpha(Y)$$

$$\delta = F_\delta(X) \cdot G_\delta(Y)$$

$$C_{pi} = F_i(\alpha) \cdot G_i(\delta)$$

Calculation of Velocity Vector and Static Pressure

$$V = \sqrt{\frac{2[P_1 - \min(P_2, P_3)]}{\rho [C_{p1} - \min(C_{p2}, C_{p3})]}}$$

$$P_s = P_1 - C_{p1} \frac{\rho V^2}{2}$$

Calculation of Velocity Components on Probe Coordinates

$$V_x = V \sin \delta$$

$$V_y = V \cos \delta \cdot \sin \alpha$$

$$V_z = V \cos \delta \cdot \cos \alpha$$

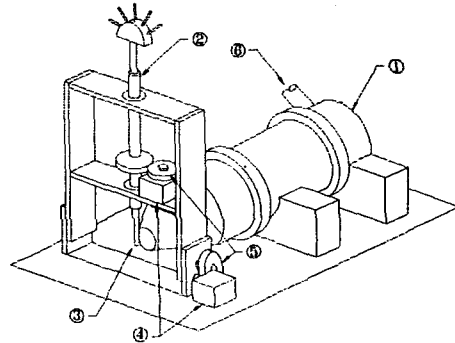
Calculation Velocity Components on Absolute Coordinates

$$U_i = f(V_x, V_y, V_z)$$

Fig.2 Flow chart of 5-hole probe calibration and data reduction process

2.3 검정장치

검정에 사용한 검정장치는 Fig.3과 같다. 검정장치는 노즐과 원하는 피치각과 요오각을 제어해주는 스텝모터로 구성되어있다.



- 1. Calibration wind tunnel
- 2. 5-Hole pitot tube supporter
- 3. 5-Hole pitot tube
- 4. Stepping motor
- 5. Gear
- 6. Air supply in

Fig.3 Configuration of 5-hole pitot tube calibrator

2.4 검정 결과

Fig.4와 Fig.5에서는 피치각 $\delta = 0^\circ$ 와 $\delta = 12^\circ$ 에 대해 요오각 α 를 -40° 에서 $+40^\circ$ 까지 4° 씩 증가 시켜가면서 구한 C_{pi} 값에 대한 검정곡선을 보여 주고 있다.

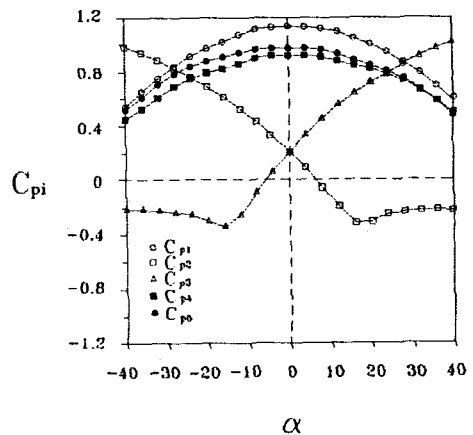


Fig.4 Characteristics of Pressure recovery factor C_{pi} when $\delta = 0^\circ$

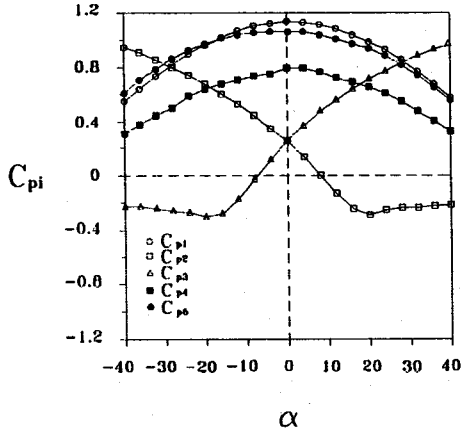
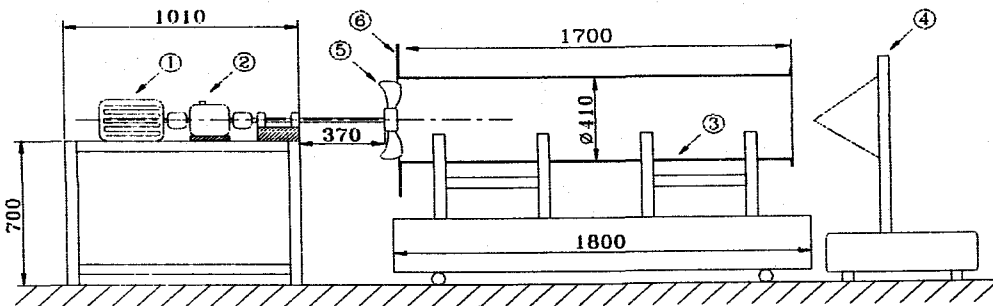


Fig.5 Characteristics of pressure recovery factor C_p , when $\delta=12^\circ$

3. 측정사례

3.1 실험목적

히트펌프의 실외기에서 생각용으로 사용되는 프로펠러 팬의 전방과 후방에서의 유동장을 5공피토판으로 측정하여 프로펠러 팬의 설계시 기본적인 인자(parameter)인 팬과 덕트와의 상대위치 및 유량변화가 전방유동장 및 상대유동각에 미치는 영향을 연구하였다



①motor ② torque meter ③ duct ④ damper ⑤ propeller fan ⑥ baffle plate

Fig6. Experimental apparatus

3.2 실험장치

본 연구목적에 맞게 설계제작된 실험장치는 Fig.6과 같다. 프로펠러 팬의 구동은 유량변화에 따라 회전수가 변화하지 않도록 $\pm 0.5\text{rpm}$ 의 오차를 갖는 인버터(inverter)를 이용하여 조정하였으며, 프로펠러 팬과 덕트와의 상대위치는 프로펠러 팬부를 고정시키고 덕트부를 전후로 이동시킴으로써 변화시켰다. 열교환기에 의해 프로펠러 팬에 가해지는 공기부하는 댐퍼(damper)에 의한 유량변화로 변화시켰다. 또한 덕트 입구부에 플랜지(flange)를 설치하여 배플판(baffleplate)을 부착할 수 있도록 하여 실제 열교환기의 흡입상태와 가깝게 묘사하였다.

3.3 자동계측 시스템

자동계측 시스템은 5공 피토판의 압력을 디지털 신호로 컴퓨터에서 받아들이는 데이터 처리 시스템과 5공 피토판을 측정 위치까지 이송시키는 3차원 이송장치로 구성되어 있다. 이런 장치들은 모두 퍼스널 컴퓨터로 제어 및 처리된다. Fig.7은 자동계측 시스템의 개략도이다.

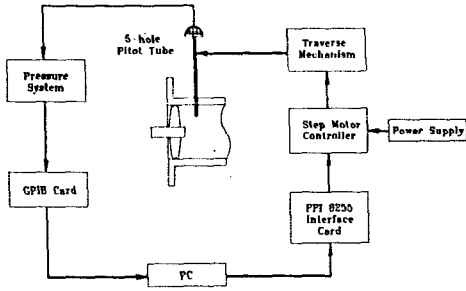


Fig.7 Schematic diagram of control system

측정에 사용된 이송장치의 개략도는 Fig.8 과 같다.

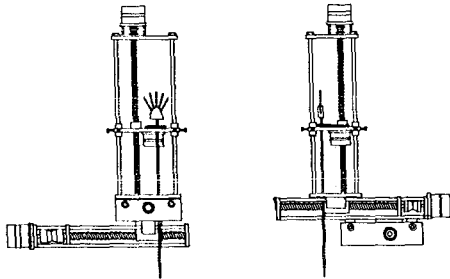


Fig.8 Configuration of traversing system

프로펠러 팬의 평균적인 유동을 측정하기 위하여 측정 위치에 5공 피토관을 위치시킨 후 팬이 최소한 50회 이상 회전하는 동안 압력은 Pressure Systems사의 System 8400의 PIU(Pneumatic Input Unit)에서 전기적 신호로 변환된다. 변환이된 신호는 System 8400 내부에서 디지털신호화 되고 컴퓨터 내부에 장치된 GPIB Card로 보내지고 여기서 컴퓨터 메모리에 보내져 저장된다.

각 측정점에서 5개의 구멍으로부터의 신호가 샘플링되어 구멍마다 1000개의 신호가 System 8400에서 평균이 되어 컴퓨터로 전송된다. System 8400은 PIU에 16개의 채널(channel)이 있고 각채널의 샘플링 주파수는 5KHz이고 $\pm 0.01\text{mmHgO}$ 의 정밀도로 측정될 수 있다. 또 PCU(Pressure Calibration Unit)가 있어 이것으로 정확한 압력을 검정할 수 있다.

3.4 프로펠러 팬

본 실험에 사용된 프로펠러 팬은 히트펌프 설비의 냉각용으로 사용되고 있는 것이며 직경이 400mm, 날개높이가 140mm, 최대 날개폭이 114mm, 허브비(λ)가 0.3이다. 프로펠러 팬의 종횡비(aspect ratio)는 작기 때문에 축류팬에 비해 큰 코드길이와 큰 날개폭을 가지고 있으며 캠버각은 상대적으로 작고 박판으로 만들어져 있다. 개략적인 형상은 Fig.9에 나타나있다.

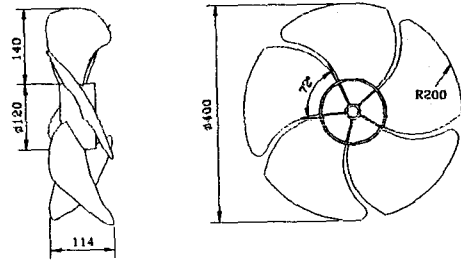


Fig.9 Schematic view of propeller fan

3.5 기호

팬과 덕트와의 상대위치와 속도측정위치를 무차원화하기위해 사용된 기호가 Fig.10에 제시되어있다. 여기서 R_{tip} 은 팬의 외주반경이고 R 은 측정심으로부터 반경방향으로의 위치를 나타낸다. 따라서 $R/R_{tip}=0$ 은 측정심을 의미하고 $R/R_{tip}=0.3$ 은 허브반경을 의미하며 $R/R_{tip}=1$ 은 팬의 외주를 의미한다.

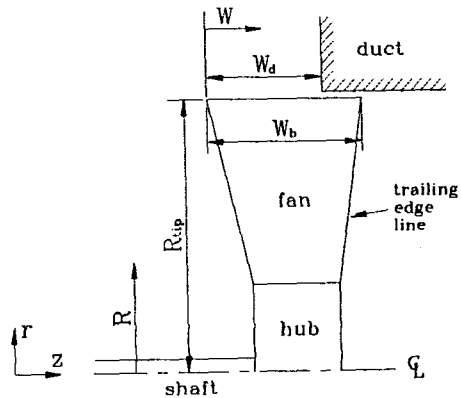


Fig.10 Notations

W 는 팬의 전연으로부터 측방향으로의 임의의 위치를 나타낸다. W_b 는 날개폭이고 W_a 는 팬의 전연과 덕트입구까지의 측방향거리를 나타낸다. 따라서 W/W_b 가 0과 1이면 각각 팬의 전연과 후연을 의미하며, W_a/W_b 는 팬이 덕트입구단에서 튀어나와 있는 정도를 나타내며, 0이면 마침 날개가 100% 덕트 내부에 들어있는 상태를 나타낸다.

3.6 측정위치 및 방법

5공 피토크를 이용한 유동측정 방법에는 nulling method와 non-nulling method가 있다. nulling method는 전방 정체압을 측정하기 위한 1번 압력공을 기준으로 피치각을 측정할 때는 상하의 4,5번 압력공의 압력이 같아질때 까지, 요오각을 측정할 때는 좌우 2,3번 압력공의 압력이 같아질때 까지, 기준면을 회전 시켜서 그 회전각으로 유동각을 측정하는 방법이다.

한편, non-nulling method는 특성이 알려진 유동장에서 정해진 피치각과 요오각의 조합에 대하여 5공 피토크의 5개 각각의 압력공에서의 압력을 측정하여 보정곡선으로 부터 정해진 계수식의 계수를 산출하고 그 계수를 이용하여 유동각을 계산하는 방법이다.

본 실험에서는 요오각에 대하여 nulling method를 사용하였다.

전방에서 측방향으로 유입되는 유동의 속도측정은 팬의 전연에서 5mm떨어진 위치에서 5공 피토크를 반경방향으로 10mm씩 이송시켜 24개의 측정위치에서 측정하였다. 또한 전방에서 반경방향으로 유입되는 유동의 속도측정은 팬의 외주반경에서 5mm떨어진 단면에서 5공 피토크를 측방향으로 이송시키면서 측정하였다. 측정위치의 수는 팬과 덕트와의 상대위치와 유량을 고려하여 적절하게 변화시켰다. Fig.11에 전방 측정위치를 제시하였다.

후방에서의 유량측정은 덕트입구에서 400mm떨어진 단면에서 5공 피토크를 반경방향으로 10mm씩 이송시켜 15개의 측정위치에서 측정하였다. Fig.12에 후방 측정위치를 제시하였다.

전방과 후방에서 주유동방향을 찾기위해 5공 피토크를 1°씩 회전시키는 널링방법(nulling method)을 사용하였다. 5공 피토크의 1번 구멍에서 최대압력이 측정되는 각도를 주유동방향이라고 생각하여 그때의 회전각도와 5개의 압력값과 검정곡선을 이용하여 최종적인 3차원속도, 유동각도, 정압, 총압을 구했다. 또한 실험오차를 줄이기위해 입구유량과 출구유량의 차이가 출구유량을 기준으로 하였을때 3%이하가 될때까지 실험을 반복하였다.

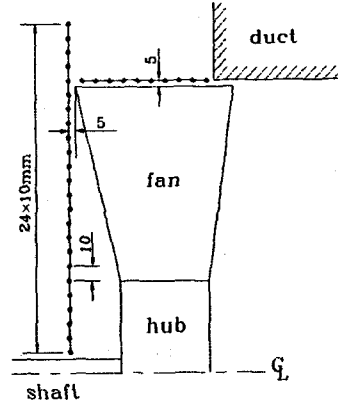


Fig.11 Measuring points ahead of duct
(symbols · shows measuring points)

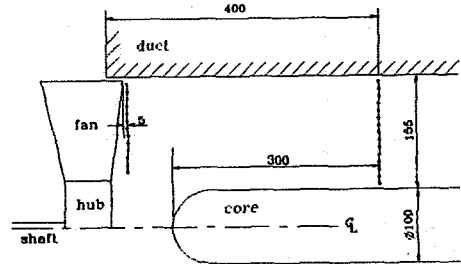


Fig.12 Measuring points behind the fan rotor
(symbols · shows measuring points)

3.7 실험결과 및 고찰

일반적으로 프로펠러 팬은 낮은 중횡비(aspect ratio)를 가지기 때문에 축류팬에 비해 상대적으로 큰 코드길이와 큰 날개폭을 가진다. 본 실험에 사용된 프로펠러 팬의 최대날개폭은 외주반경(R_{tip})의 57%정도이다. 이처럼 프로펠러 팬의 날개폭이 큰 경우, 프로펠러 팬이 덕트에서 노출된 상태에서 회전할 때 전방에 있는 유체는 전연쪽(측방향)으로 유입될뿐만 아니라 날개 옆면쪽(반경방향)으로도 유입된다. 따라서 프로펠러 팬의 전방유동은 크게 측방향으로 유입되는 유동(q_r)과 반경방향으로 유입되는 유동(q_c)으로 나눌 수 있다. 전방에서 측방향과 반경방향으로 유입된 유동은 날개내부에서 합쳐져 후방으로 배출된다. 따라서 프로펠러 팬이 덕트 입구에 대해 전방으로 돌출되어 반경방향으로 유입되는 유동(q_c)이 존재하는 경우 프로펠러 팬을 통과

하는 유체의 축방향속도는 입구와 출구에서 다르며 결국 유체는 축방향으로 가속된다. 이러한 프로펠러 팬 주위의 개략적인 유동형태를 Fig.13에 나타냈다.

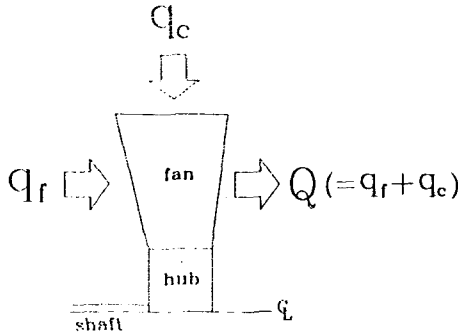


Fig.13 Flow pattern around the fan rotor

이곳서 축방향으로 유입되는 유동(q_r)의 입구면적은 R_{tip} 을 반경으로 하는 원의 면적에서 회전축의 단면적을 제외한 면적과 같으며, 반경방향으로 유입되는 유동(q_c)의 입구면적은 R_{tip} 을 반경으로 하고 전연과 덕트입구사이의 거리를 높이로 하는 원통의 표면적과 같다. 프로펠러 팬의 전방유동의 특징은 프로펠러 팬이 덕트없이 작동하는 경우에서 잘 나타나는데 이 경우 전방 유입면적과 원주 유입면적의 전체 유입면적에 대한 비율은 각각 47%와 53%이다.

프로펠러 팬이 덕트없이 작동하는 경우의 속도벡터는 Fig.14와 같다. 전방에서 축방향으로 유입되는 유체는 허브면이 유동장에 역할을 하므로 허브면근처에서는 팬날개쪽을 향하고 있으며 $R/R_{tip}=1$ 이상의 영역에서는 팬으로 유입되기위해 축중심을 향하고 있다. 반경방향으로 유입되는 유체는 후연근처를 제외한 날개옆면에서 거의 균일하게 팬으로 유입되고 있다. 후방으로 배출되는 유체는 축방향으로 유입되는 유동과 반경방향으로 유입되는 유동이 합쳐지기 때문에 전방의 속도에 비해 상대적으로 크며 R/R_{tip} 1이상의 영역에서는 상당히 미약한 속도를 가지고 있다. 허브면근처에서는 유동교란현상이 관찰된다. 팬이 덕트없이 작동하는 경우 축방향으로 유입되는 유동과 반경방향으로 유입되는 유동에 대한 3차원속도성분의 분포를 Fig.15에 나타냈다. 그림에서 나타났듯이 V_z 은 축방향으로 가속되며 전방과 후방에서 V_z 의 차이에 해당되는 유량은 전방에서 반경방향으로 유입된다. 전방에서 반경방향으로 유입되는 유량이 유입 유량에 차지하는 비율은 58%로써 축방향으로 유입되는 유량보다 많다. 따라서 축류팬과는 달리 프로펠러 팬의 경우 전방에서 반경방향으로 유입되는

유동은 전방유동장에 큰 영향을 미친다. 이처럼 프로펠러 팬의 전방유동장의 최적화는 효율높은 열교환을 위해 필요하다. 이러한 반경방향으로 유입되는 유동의 크기에 영향을 미칠 수 있는 인자로는 허드펌프의 실외기내에서 팬의 위치 및 열교환기에 의해 가해지는 부하를 들 수 있다. 이에 본 실험에서는 실외기내의 팬의 위치와 열교환기에 의해 가해지는 부하를 각각 팬과 덕트와의 상대위치와 덤퍼에 의한 유량조절로 묘사하여 팬과 덕트와의 상대위치 및 유량변화가 전방유동장에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

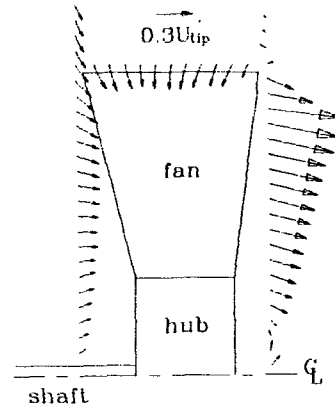


Fig.14 Meridional velocity vector (N=800rpm)

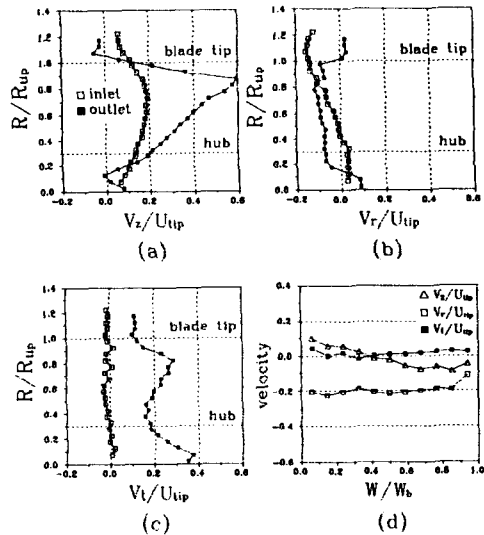


Fig.15 Velocity distributions before, after and circumference of the fan rotor (without duct, N=800rpm)

날개전방에서 유입되는 유량(q_r)과 날개주위에서 유입되는 유량(q_c)의 총유량($Q=q_r+q_c$)에 대한 비율이 유량계수 ϕ 에 따라 변하는 양상은 $W_d/W_b=0.5$ 와 0.88 의 두 경우에 대해 Fig.16에 제시되어 있다. 유량계수가 작아지면 날개주위의 덕트입구근처에서 나타나는 역류현상 때문에 날개주위에서 유입되는 유량(q_c)의 총유량에 대한 비율은 감소하고 날개전방에서 유입되는 유량(q_r)의 비율은 반대로 증가한다.

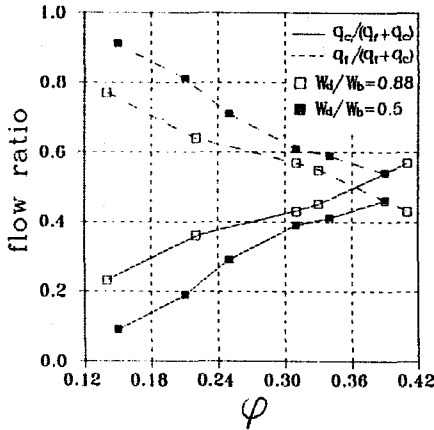


Fig.16 Variation of flow ratios versus flow coefficient ($N=800\text{rpm}$)

여기서 팬의 유량계수 ϕ -전압계수 ψ 의 특성곡선은 Fig.17과 같다. 그림에는 W_d/W_b 의 세가지 경우에 대해 제시되어 있다. W_d/W_b 의 값에 따라 약간 불규칙적인 변화가 나타나고 있으나, 전체적으로는 선형적으로 변화하고 있다.

$$\phi = \frac{1Q}{\pi(1-\nu^2)D^2U_{bp}} \quad (10)$$

$$\psi = \frac{2\Delta P_f}{\rho U_{bp}^2} \quad (11)$$

W_d/W_b 의 변화가 최소공기부하조건(최대유량계수) 하에서 유량비 $q_r/(q_r+q_c)$ 또는 $q_c/(q_r+q_c)$ 에 미치는 영향이 Fig.18에 제시되어 있다. 횡축의 ∞ 는 날개가 덕트없이 작동하는 경우를 나타낸다.

반경방향으로 유입되는 유량비 $q_c/(q_r+q_c)$ 는 팬이 덕트없이 작동하는 경우에 최대 58%였으며,

W_d/W_b 가 작아질수록 감소하며 축방향으로 유입되는 유량비 $q_r/(q_r+q_c)$ 는 반대로 증가한다. 이 그림에서 총유량이 W_d/W_b 에 따라 변화하는 양은 크지 않으나 팬이 덕트없이 작동하는 경우에서 $\phi=0.42$ 로 가장 크며 W_d/W_b 가 감소할수록 작아져서 $W_d/W_b=0$ 에서 $\phi_{\max}=0.37$ 로서 가장 작음을 알 수 있다. 이것은 W_d/W_b 의 감소에 대해 날개의주에 유입되는 유량의 감소율이 전방에서 유입되는 유량의 증가율보다 크다는 것을 의미한다. 이상의 결과로부터 유량계수 ϕ 와 날개의 상대위치 W_d/W_b 의 크기에 따라 q_r 와 q_c 의 비율이 변화하는 것을 고려하면 팬 입구의 유동장을 적절하게 조절할 수 있음을 알 수 있다.

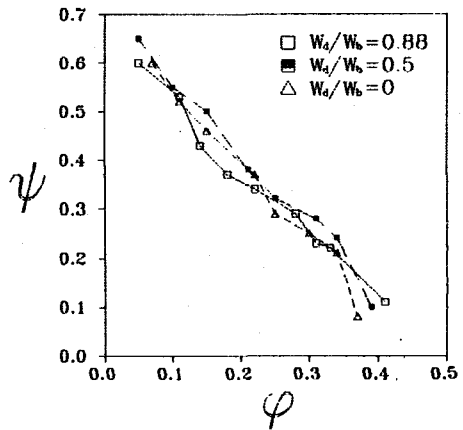


Fig.17 Performance curves of the propeller fan ($N=800\text{rpm}$)

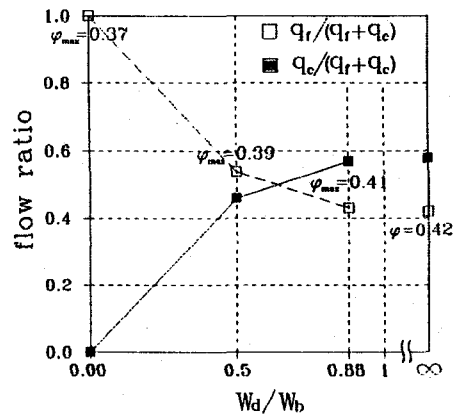


Fig.18 Variations of flow ratios with the position of fan ($N=800\text{rpm}$)

4. 결론

5공 피토관을 비교적 간단한 측정방법으로 측정하여 3차원 속도의 측정을 수행하였다. 측정과 속도측정은 압력 스케니와 자동이송장치 측정장치를 이용하여 자동화 할 수 있으며 일선과는 달리 한번 측정한 결과를 계속 사용할 수 있으므로 실험시간을 단축시킬 수 있었다.

본 연구에서 사용한 측정방법과 측정시스템을 이용하여 프로펠러 팬과 덕트의 상대위치가 유동특성에 미치는 영향에 관한 연구결과를 소개하였다.

참고문헌

- 1) S.Matsunaga, et.al., "Measurement of Instantaneous Pressure and Velocity in Nonsteady Three-Dimensional water Flow by Means of a combined Five-Hole Probe", Tras. of the ASME, Vol.102, pp 196-202, June, 1980
- 2) 김 종수, "케이싱의 입구조건이 팬의 유동특성에 미치는 영향에 관한 연구", 연세대학교 기계공학부, 석사학위 논문, 1995
- 3) 심 우찬, 조 상래, 주 원구, 프로펠러 팬과 덕트와의 상대위치가 유동특성에 미치는 영향, 공기조화·냉동공학회 논문집(계재확정), 1997