

동축이중원관 분류에 있어서의 유동 특성에 관한 연구

A Study on the Flow Characteristics in Double Coaxial Pipe Jets

신창환*, 김경훈**

C. H. Shin, K. H. Kim

ABSTRACT

The present study is aiming at improving the performance of main nozzle of an air jet loom with a modified reed and auxiliary nozzles. The double coaxial pipe jets consisting of a central air jet and an annular air jet have been experimentally investigated. The outer jet has a potential core and a constant velocity. The inner jet through an inner long pipe is induced by the subatmospheric pressure near the inner nozzle edge, and the jet velocity of an inner pipe is always lower than that of a outer pipe. The static pressures of the main nozzle over a wide range of the nozzle tank pressure were measured, and the nozzle velocity and Mach numbers were analytically calculated. Experimental results indicate that the critical condition of Mach number of unity to occur at the two positions in a main nozzle; one of them is the needle tip and the other is the acceleration tube exit. An increase in the tank pressure causes the critical throat condition to occur at the two positions above. The velocity of acceleration-tube exit is maximum at the critical length L^* and flow pattern in acceleration-tube over critical length remains unstable.

주요기술용어 : Jet(분류), Coaxial Pipe(동축원관), Axisymmetric Flow(축대칭유동), Nozzle(노즐), Turbulent Mixing(난류혼합)

기 호 설 명	f	: 마찰계수 [-]
	h	: 엔탈피 [J/kg]
A	k	: 비열비 C_p/C_v [-] (단열변화의 경우 $k=1.4$)
C	L	: 가속관의 길이 [m]
C_p	M	: 마하수 [-]
C_v	m	: 질량유량 [kg/s]
D	τ_w	: 벽면전단응력 [N/m^2]
d	P	: 절대압력 [kgf/cm^2]
$(d_i=니들내경 ; d_o=니들외경)$		

* 경희대학교 기계공학과 대학원

** 경희대학교 공과대학 기계공학과

- P_T : 노즐탱크 절대압력
[Pa 또는 kgf/cm²]
- ($P_1, P_2 \dots$ 은 단면위치 1, 2 ...에서의 압력)
- R : 기체정수 [J/kg · K]
- T : 절대온도 [K]
- V : 유속 [m/s]
- x : 니들 선단으로 부터의 x 좌표
- ρ : 밀도 [kg/m³]
- ν : 비체적 [m³/kg]

(注) 상기 기호 중에서 $M=1$ 의 임계상태를 표시하는 것에 대해서는 첨자 *를 붙여 표시한다.

1. 서론

동축이중원판의 분류는 공학적으로 응용에도 많고 에어제트 직기, 제트펌프, 인젝터, 그리고 연소기 등에 공통되는 문제로서 오래 전부터 연구되어 왔다. 그러나 대다수의 동축분류에 관한 연구는 중심분류, 환상분류 모두 포텐셜코어가 있으며 중심 분류속도쪽이 큰 경우가 대부분으로 속도비(외측 환상속도/중심분류속도)나 면적비(외측 환상노즐면적/중심노즐면적)를 변화시킨 연구가 많다.^{(1),(2)} Chigier 등⁽³⁾은 속도비가 0.024에서 ∞까지의 평균속도와 정압분포를 측정하였고, Champagne 등⁽⁴⁾은 면적비가 1.28과 2.94의 노즐에서 속도비가 0부터 10인 경우의 평균속도, 난류강도, 레이놀즈용력분포 등을 측정하고 있다. Ko 등^{(5),(6),(7),(8)}은 중심분류속도가 적으며, 속도비가 1 이상의 실험을 수행하여 단분류와 환상분류를 비교하고 있다. 또한 외측 노즐길이를 변화시킨 연구는 Williams 등⁽⁹⁾에 의해 수행되고 있지만 주로 소음과의 관계를 조사하였으며, 노즐길이형상의 분류구조에 미치는 영향에 대해서는 아직까지도 불분명한 것이 많다.

본 연구는 에어제트 직기용 주노즐을 중심으로 하여,포텐셜코어를 갖는 외측 환상분류와 그 분류에 의해 자연 흡인되는 내측 중심분류로 이루어지는 동축 이중원판분류의 유동특성을 조사하는 것을 목적으로 하며, 주노즐관내의 유동에 대해서 압축성을 고려한 일차원 유

동으로서 탱크압력조건이나 노즐내부의 형상을 변화시켜 해석하고, 노즐관내의 국부 벽면정압 등의 실험결과와 비교 검토하여 노즐성능의 향상을 꾀한다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 실험장치

압축공기는 그림 1과 같이 공기원인 압축기로부터 에어필터, 공기탱크, 압력조절기, 압력계, 유량계를 거쳐 주노즐로 유도된다. 솔레노이드 밸브를 설치하여 유동이 적당한 시간간격으로 간헐류가 아니고 정상 분사류가 되도록 하였다.

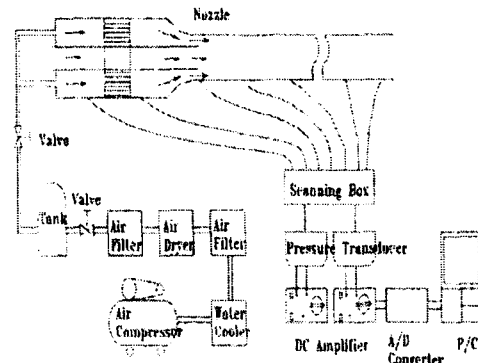


Fig. 1 Schematic outline of experimental apparatus

주노즐의 구성은 그림 2에서와 같이 노즐본체, 니들, 가속관 등의 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 니들은 그 중심부에 위사 도사로틀 가지며, 그 선단부는 앞이 가는 테이퍼 상태로 가공이 되어 있고 노즐 본체에 삽입되어 있다. 노즐 본체의 공기 삼입구로부터 들어온 압축공기는 제 1공기 집합부로부터 니들의 외주를 따라 유동하며, 니들 외주 표면에 방사상으로 배치된 정류자의 사이를 통과한 후, 제 2공기 집합부를 경유해서 테이퍼유로로 진행되어 나간다.[그림 2(c)] 테이퍼유로는 니들의 선단으로 진행함에 따라 유로 면적이 좁아진다.

그 후 유동은 가속관내로 들어가기 때문에

유속이 급격하게 확대된다. 가속관내의 유동은 관경이 일정한 것이기 때문에 Fanno유동이 되며, 최종적으로 가속관 출구에서 대기중으로 방출된다.

주노즐 각부의 주된 치수는 니들선단부의 내경 $d_i=2.9\text{mm}$, 외경 $d_o=3.5\text{mm}$ 이고, 가속관의 내경 $D_i=5.0\text{mm}$, 외경 $D_o=7.0\text{mm}$ 이다.

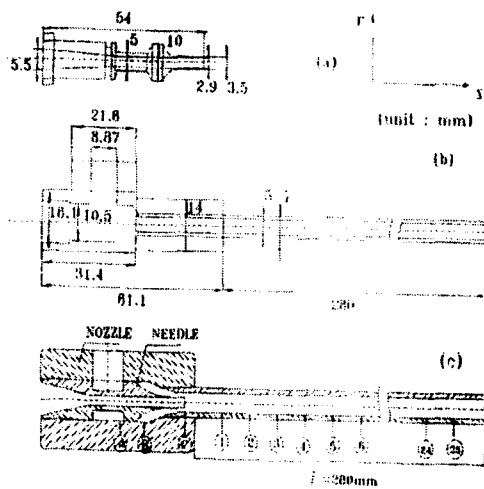


Fig. 2 Configuration and dimensions of main nozzle (L=285mm)

2.2 실험방법

그림 2에 나타난 주노즐내의 유동을 해석하기 위하여 그림 2(c)에서와 같이 주노즐의 제 1공기 집합부, 제 2공기 집합부 그리고 니들선단에 각각 직경 0.8mm의 정압측정공을 하나씩 설치한다. 또한 그림 2(c)에 나타난 주노즐 본체에 같이 붙어있는 가속관에는 벽면 정압 측정을 위하여 0.8mm의 정압 측정공이 설정되어 있다. 즉, 니들 선단을 원점으로 해서 그림 2(c)에서 볼 수 있듯이 노즐바디 제 1, 제 2공기 집합부에서 $x=-21\text{mm}$ 와 -13mm 의 위치, 또한 가속관 위 $x=15\text{mm}$ 의 위치 (1)로부터 10mm간격으로 (2)(3)....으로 설치하였다. 압력 측정시에는 스케닝박스를 사용하여 측정하고자 하는 정압공 이외의 구멍은 막아 놓고 측정하였다. 각 정압공의 압력측정에는 측정범위

01200kPa의 압력트랜스듀서를 이용하였다. 이때 측정된 압력은 DC 증폭기를 거쳐 전압신호로서 A/D 변환기를 통해 컴퓨터에 화일로 저장된다. 실험은 또한 가속관의 길이를 95, 195, 235, 285mm로 변화시켜 가면서 각각 수행하였다.

3. 유동의 분류

주노즐은 에어제트 직기에 있어서 처음 실을 선택하여 위사를 경사내로 투입시키는 중요한 역할을 한다. 주노즐의 형태는 노즐 본체의 공기 삽입구(제 1공기 집합부), 니들의 테이퍼 유로부(제 2공기 집합부), 니들 끝단에서의 최소 단면적부에서 가속관으로 이어진다.

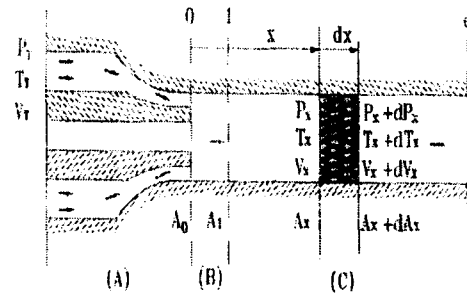


Fig. 3 Classification of flow in main nozzle

주노즐의 유동을 해석하는 데 있어서 그 부분을 그림 3과 같이 크게 세 부분으로 나누어 생각할 수 있다. 그 첫번째인 A영역은 노즐바디내로부터 니들의 선단부까지의 노즐 외벽과 니들에 둘러 쌓인 환상의 테이퍼 유로부인 축소노즐유동이며, B영역은 니들의 선단에서 환상류가 급격하게 확산한 후 니들의 위사통로로부터의 흡인류와 혼합되어 균일한 유동이 되는 노즐 가속관 입구부까지의 영역으로 노즐의 단면이 급격하게 확대되는 급확대관 유동이다. 그리고 마지막으로 균일하게 혼합된 가속관 입구로부터 출구까지의 영역으로서 관벽에서의 마찰이 발생하는 단면적이 일정한 관내 단열 유동으로 Fanno유동부분이다.

3.1 영역 A의 유동 - 축소노즐내의 유동

축소노즐(Converging nozzle)은 유동의 방향에 따라 단면적이 서서히 감소하여 출구측에서 단면적 최소부(Slot부)가 되는 노즐을 말한다. 공기 탱크의 조건을 정체조건으로 하고 노즐의 공급압력 P_T 을 변화시킴에 따라 축소노즐의 출구단, 즉 니들선단에서 유속이 음속에 달하는 데 이때의 분류의 압력을 임계압력 P^* 이라 하면 축소노즐의 유동은 크게 세 가지로 나누어서 해석할 수 있다.

공급압력 P_T 가 완만하게 상승하면 목압력은 목에서 음속으로 되게 할 임계치 P^* 보다 더 높다. 노즐 내에서의 유동은 전체에 걸쳐 아음속이 되고, 질량유량은 아음속 등엔트로피유동으로 예측되며 임계치보다는 더 작다. 만일 공급압력 P_T 가 임계압력 P^* 와 정확히 같다면 목에서는 음속이 되고 노즐 출구에서의 유동도 음속이 된다. 이때 질량유량은 최대치에 이른다. 목의 상류유동은 아음속유동으로 국소면적비에 근거한 등엔트로피유동으로 해석한다. 마지막으로 만일 공급압력이 임계압력 P^* 보다 높다면 노즐은 최대 목질량유량에서 질식(Choke)되기 때문에 더 이상 반응할 수 없다. 목의 압력은 P^* 로서 음속으로 남아 있으며 노즐압력의 분포는 임계압력과 동일한 경우에서의와 같은 분포를 나타낸다. 출구의 분류가 초음속이므로 노즐내에서의 질식된 유동조건에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 변화도 상류로 보낼 수 없게 된다.

따라서 축소노즐유동에서는 그림 3에서 단면 T의 압력 P_T 와 단면 0의 압력 P_0 간의 비율에 의해 단면 0의 유동이 달라진다. 그러므로 각 조건에 따른 단면 0의 유동의 제약을 구할 수 있다.

단면 0의 유동은 아음속 또는 $M_0=1$ 의 임계상태가 된다. 아음속인 경우 $P_0=P_1$ 으로 놓는다. 따라서 에너지식은 다음과 같다.

$$h_0 + \frac{V_0^2}{2} = h_T \tag{3.1.1}$$

여기서 단면 0의 유속 V_0 는 정체점의 압력 P_T , 온도 T_T 및 가속관 입구의 압력 $P_1(=P_0)$ 로

부터 구할 수 있다.

$$\frac{P_T}{P_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_0^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \tag{3.1.2}$$

윗식으로부터 마하수 M_0 를 구할 수 있고, 다음의 식으로부터 단면 0의 유동의 제약을 구한다.

$$T_0 = \frac{T_T}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_0^2\right)} \tag{3.1.3}$$

$$\rho_0 = \frac{\rho_T}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_0^2\right)^{\frac{1}{k-1}}} \tag{3.1.4}$$

$$C_0 = \sqrt{kRT_0} \tag{3.1.5}$$

단면 0의 유동이 임계상태인 경우는 단면 0의 유동의 제약은 $M_0=1$ 로 놓고 윗식으로부터 구한다.

3.2 영역 B의 유동 - 급확대관 유동

니들 선단을 나온 분류는 가속관 입구부에서 급확대관 유로가 되어 유동은 급격하게 확대된다. 본 실험의 노즐에서는 니들 선단 최소단면적부(Slot부) 외경과 가속관 내경과의 비, 즉 확대관비가 비교적 작기 때문에 니들 Slot부가 아음속영역에서는 그림 3에 표시한 Slot부 단면 0의 압력 P_0 를 가속관 입구의 균일한 유동부 단면 1의 압력의 실측치 P_1 과 같다고 가정하고, 또한 음속영역에서는 P_0 가 임계압력이 된 것으로서 유동의 제약을 산출한다.

단면 0과 단면 1 사이의 검사체적에서 기본방정식은 다음과 같다.

연속방정식 :

$$\rho_0 V_0 A_0 = \rho_1 V_1 A_1 = \dot{m} \tag{3.2.1}$$

운동량방정식 :

$$\int_0^1 \frac{dP}{P} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{V_0^2}{2} \tag{3.2.2}$$

에너지방정식 :

$$h_0 + \frac{V_0^2}{2} = h_1 + \frac{V_1^2}{2} \quad \text{또는}$$

$$\frac{C_0^2}{k-1} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{C_1^2}{k-1} + \frac{V_1^2}{2} \quad (3.2.3)$$

윗식으로부터 다음의 식을 얻는다.

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{A_0 M_0}{A_1 M_1} \sqrt{\frac{2+(k-1)M_0^2}{2+(k-1)M_1^2}} \quad (3.2.4)$$

윗식에 단면 0와 단면 1의 단면적 A_0, A_1 , 전향에서 얻어진 단면 0의 유동의 제량 M_0, P_0 를 그리고 단면 1의 벽면 정압치 P_1 을 대입시키면 단면 1의 마하수 M_1 을 구한다. 마하수 M_1 을 아래의 식에 대입하여 단면 1의 유동의 제량을 구할 수 있다.

$$T_1 = T_0 \frac{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_0^2\right)}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_1^2\right)} \quad (3.2.5)$$

$$V_1 = \sqrt{kRT_1} \quad (3.2.6)$$

$$\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1} \quad (3.2.7)$$

3.3 영역 C의 유동 - Fanno유동

가속관을 따르는 유동의 특징은 일정단면의 가속관유로에 유체가 외부와의 열전달이 없고 마찰유동을 하는 Fanno유동으로 해석한다. 노즐내의 유동은 등엔트로피유동으로 가정하고 일정단면유로에서 Fanno유동할 때, 유동거리 X 에 따르는 압력변화는 일정한 배압에 대해서는 노즐출구의 압력에 따라 결정된다.

노즐출구의 압력이 어느 한계 즉 임계압력까지 높아지면 노즐과 유로에서 다 같이 압력이 감소하고, 노즐 출구압력이 임계압력이 되면 가속관 출구에서 마하수가 1이 된다. 노즐출구의 압력을 이보다 더 높이면 출구에서 이미 음속에 도달하였으므로 노즐과 닥트내의 유동조건을 변화시키지 않고서는 질량유량을 증가시키지 못한다. 즉 유동은 질식된다. 이러한 마하수의 증가는 관내 마찰에 의한 유동방향으로

벽면경계층의 발달로 인하여 유로내의 유효 단면적이 감소하기 때문이다.

Fanno유동을 지배하는 기본방정식은 다음과 같다.

연속방정식 :

$$\rho dV + Vd\rho = 0 \quad (3.3.1)$$

운동량방정식 :

$$-\frac{dF_f}{A} - dP = \rho VdV \quad \text{또는}$$

$$dP + \rho VdV = -\left(\frac{f dx}{D_H}\right) \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (3.3.2)$$

에너지 방정식 :

$$dh + d\left(\frac{V^2}{2}\right) = 0 \quad (3.3.3)$$

두 단면 사이에 작용하는 마찰의 효과를 마하수의 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{f}{D_H} dx = \frac{2}{kM^2} \frac{1-M^2}{1+\frac{k-1}{2}M^2} \frac{dM}{M} \quad (3.3.4)$$

유로 출구단에서 유동조건이 음속유동이 되는데, 즉 질식유동이 되는 유로를 가정한 출구단 ($M=1$ 이 되는 단면)을 기준으로 하여 마하수가 M 인 단면까지의 거리를 L^* 라 가정하면 윗 식 (3.3.4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{fL^*}{D_H} = \frac{1-M^2}{kM^2} + \frac{k+1}{2k} \ln \left[\frac{(k+1)M^2}{2+(k-1)M^2} \right] \quad (3.3.5)$$

기준조건으로서 임계상태를 택하고 임계조건에서의 성분량을 각각 P^*, ρ^*, T^* 로 표시하면 임의의 단면에서의 유동조건은 다음과 같이 마하수의 함수로 표시할 수 있다.

$$\frac{T}{T^*} = \frac{k+1}{2+(k-1)M^2} \quad (3.3.6)$$

$$\frac{P}{P^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{k+1}{2+(k-1)M^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3.7)$$

$$\frac{\rho}{\rho^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{2+(k-1)M^2}{k+1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3.8)$$

윗 식에서 임의의 단면 x 에서의 마하수를 구

할 수 있다.

4. 실험결과

4.1 벽면 정압의 분포

노즐의 입구에서 가속관 출구까지의 압력을 탱크압력 $P_T=2\sim 6\text{kgf/cm}^2$ 에 대해 측정하여 그 결과를 P/P_T 로 무차원화하여 그림 4에 나타내었다.

벽면정압의 분포로부터 볼 때, 앞에서 서술한 관내의 세 영역에 대한 특징이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 먼저 $P_2\sim P_0$ 까지의 유동은 니들의 선단부가 노즐의 최소단면적부가 되어 선단부에서 압력이 급격히 감소하는 축소노즐의 유동이 되고, $P_0\sim P_2$ 까지의 유동은 노즐 출구를 나온 유동이 니들 중앙부의 유동과 혼합하여 P_2 에서 속도의 결손부가 소멸됨을 보여주는 급확대관영역이 된다. 또한 P_2 에서 가속관 출구까지의 유동은 벽면경계층의 발달로 압력이 점진적으로 감소하는 Fanno유동영역이 됨을 알 수 있다.

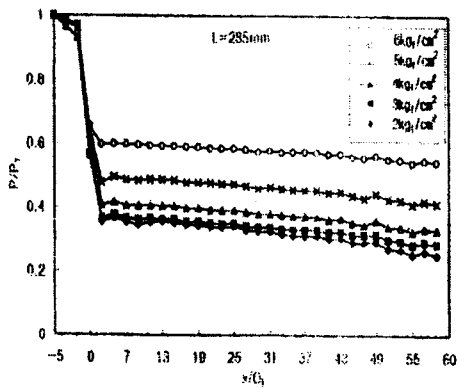


Fig. 4 Distribution of static pressure on wall surface along x-axis in basic nozzle

4.2 유동의 분석

그림 5에는 노즐 관내 유속의 분포를 마하수로 나타내고 있다. 축소노즐에서의 유속은 노즐 출구에서 최대가 된다. 등엔트로피 유동인 $k=1.4$ 인 노즐유동의 경우에는 $P^*/P_T=0.5283$ 일

때 노즐 목에서의 마하수가 $M=1$ 이 된다.

공급압력 P_T 가 커짐에 따라 P^*/P_T 는 0.5283의 임계조건에 근접해 가고 마하수는 거의 1에 도달되어 짐을 알 수 있다. 결국 공급압력 P_T 를 증가시켜도 노즐 출구에서의 유속은 마하수 $M=1$ 의 임계치로 보존된다.

니들 선단을 나온 유동은 니들 중앙부의 유동과 혼합하여 중앙의 속도 결손부가 없어지면서 유속의 감소를 보인다. 이러한 속도의 결손부는 P_2 에서 완전히 소멸된다. 급확대관영역에서의 마하수 M_1 은 공급압력을 변화시켜도 니들 선단의 마하수 M_0 보다는 저하한다.

속도 결손부가 소멸된 P_2 를 가속관 입구로 하여, 가속관내의 Fanno유동영역에서 마하수 M 은 서서히 증가함을 알 수 있다. 결국 가속관 출구에서 마하수 M 은 최대가 된다. Fanno유동이 안정된 5kgf/cm^2 의 경우에 있어서는 임계거리가 $L^*=195.67$ 이다. 이는 $X/D=41$ 이후의 유동이 일정하지 못한 것과 잘 일치하는 결과이다. 가속관 출구의 속도는 임계거리 L^* 에서 최대가 되고 그 이후의 유동은 불안정하게 된다.

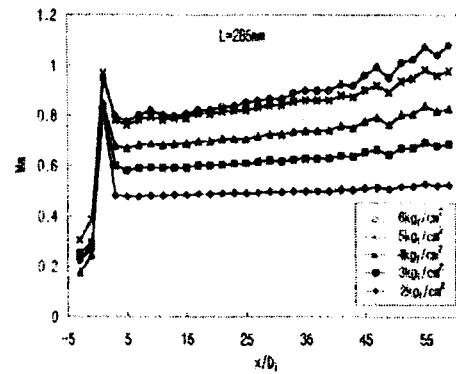


Fig.5 Distribution of Mach numbers along x-axis in basic nozzle

4.3 가속관 길이 변화에 따른 유동

가속관 길이 $L=285\text{mm}$ 의 경우 임계거리 $L^*=195.67\text{mm}$ 이후 즉 $x/D_1=41$ 이후에서 유동이 불안정함을 알았다. 이에 따라 가속관의 길이를 95, 195, 235, 285mm로 변화시키면서 각각

공급압력 2~5kgf/cm²에 대해 실험을 수행하였다. 이 경우 6kgf/cm²의 공급압력에 대한 실험은 5kgf/cm²의 경우와 그 유동 성향이 거의 유사하고 공급압력의 상승은 제작비용의 증가를 가져옴으로 제외시켰다. Fig 6은 노즐의 입구에서 가속관 출구까지의 단면에서 가속관 길이에 따른 벽면정압 P의 분포를 유동이 안정된 노즐탱크압 5kgf/cm²에 대해서 나타내고 있다. 니들 선단부를 지난 유동은 가속관 입구부에서 급확대관 유동이 되어 니들의 중앙부의 유동과 혼합하게 된다. 가속관의 길이 변화에 따른 정압의 분포는 거의 일정한 형상을 보여주고 있으나 가속관 길이가 가장 긴 L=285mm의 경우 가속관 출구부에서의 정압의 분포는 불균일하게 나타난다.

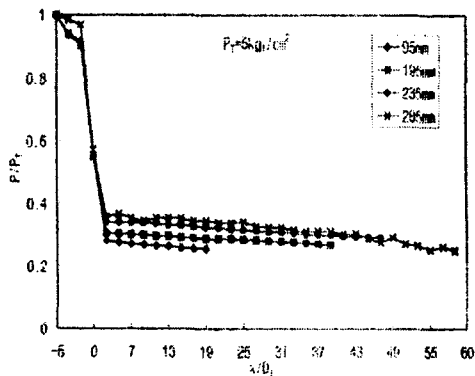


Fig.6 Distribution of nondimensional static pressure along x-axis in nozzle with various acceleration tube lengths.

이에 따른 마하수의 분포를 Fig 7에 나타내었다. 가속관의 길이를 변화시킨 경우 임계거리와 거의 유사한 L=235mm인 유동은 가속관 출구부까지의 유동이 안정을 유지하며 출구부의 속도는 가속관 길이 L=285mm의 경우와 거의 유사하였다.

가속관의 길이가 긴 노즐일수록 가속관 입구에서의 마하수는 적다. 따라서 니들 선단부의 압력 P₀가 임계상태(M₀=1)가 되는가 어떤가는 가속관 입구의 압력 P₁에 의존하며, 특히 가속관이 긴 노즐일수록 P₁의 값은 높다. 이 때문에

니들 선단부가 임계상태가 되는 데에 필요한 노즐 탱크압력 P_T는 가속관 길이가 긴 노즐일수록 높아진다.

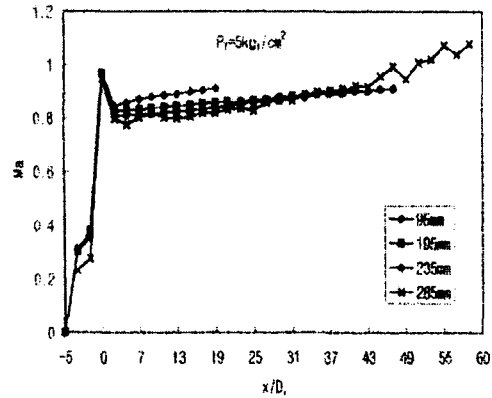


Fig. 7 Distribution of Mach number along x-axis in nozzles with various acceleration

4.4 노즐내의 질량유량

정상 일차원유동에서 송출할 수 있는 질량유량은 일차원유동에 관한 연속방정식으로부터 얻을 수 있다.

$$\dot{m} = A\rho V = \frac{APV}{RT} = \text{상수} \quad (4.4.1)$$

이 식을 정체조건과 마하수 단면적의 항으로 표시하면 질량유량식은 다음과 같다.

$$\dot{m} = A_0 M_0 P_T \left(\frac{k}{RT_T} \right)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{k-1}{2} M_0^2 \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad (4.4.2)$$

노즐을 통하여 흐르는 질량유량은 공급압력이 증가함에 따라 노즐출구에서의 속도가 증가하므로 질량유량도 증가한다. 기체가 유로를 따라 흐를 경우, 최대유량은 노즐출구에서 음속에 도달했을 때 다시 말해서 유동이 질식되었을 때 얻어지므로 다음과 같이 표시된다.

$$\dot{m}_{\max} = \frac{P_0 A^*}{\sqrt{kRT_0}} k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad (4.4.3)$$

그림 8은 위식 (4.4.3)으로부터 노즐탱크압력 $P_T=2\sim 6\text{kgf/cm}^2$ 에 대한 대한 질량유량을 구하고 표준대기압하에서의 유량으로 환산한 후, 기준노즐 입구부에서 유량계로 실측한 유량과의 비교를 나타낸 것이다. 이로써 유량계에 의한 측정결과와 벽면정압에 의한 계산결과가 탱크압 $P_T = 2\sim 6\text{kgf/cm}^2$ 의 전영역에 걸쳐서 비교적 잘 일치하며, 본 실험의 타당성이 확인되었다.

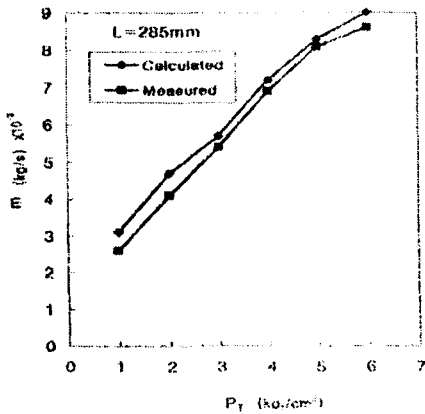


Fig. 8 Distribution of mass flow rate

5. 결론

본 연구는 포텐셜코어를 갖는 외측 환상분류와 그 분류에 의해 자연 흡인되는 내측중심분류로 이루어지는 동축 이중원관분류의 유동특성을 조사하였다. 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 주노즐에서 유동이 질식되는 임계조건은 공급압력의 크기에 따라 니들 선단부와 가속관 출구부의 두 곳에 생긴다.
- (2) 급확대관영역에서 유속은 감소하고 마하수는 공급압력에 관계없이 니들 선단부의 마하수보다 작다.
- (3) 가속관출구의 속도는 임계거리 L^* 에서 최대가 되고, L^* 이상의 영역에서 그 유동은 불안정하다. 즉 가속관 길이의 한계는 임계거리 L^* 가 된다.
- (4) 가속관 길이가 임계거리와 동일한 가속관

의 경우 유동은 안정되고 임계거리 이상의 가속관과 비교해 볼 때 유속의 변화는 적다.

- (5) 니들 선단부가 임계상태가 되는 데에 필요한 노즐 탱크압력 P_T 는 가속관 길이가 긴 '노즐일수록 높아진다.

참고 문헌

- 1) 松本外 2名, "同軸噴流に関する研究(第1報, 空氣-空氣同軸噴流の實驗)", 日本機械學會論文, vol.38, No.311, pp. 1753~1761, 1972
- 2) Kwan, A. S. H. and Ko, N.W.M., "Coherent Structure in Subsonic Coaxial Jets", J. Sound Vib., vol.48, pp. 203~210, 1976
- 3) Chigier, N. A. and Beer, J. M., "The Flow Region Near the Nozzle in Double Concentric Jets", Trans. ASME. J. Basic Eng., vol.86, pp. 797~804, 1964
- 4) Champagne, F. H. and Wygnarski, I. J., An Experimental Investigation of Coaxial Turbulent Jets, Int. J. Heat Mass Transfer, vol.14, pp. 1445~1452, 1971
- 5) Ko, N. W. M., and Au, H., "Initial Region of Subsonic Coaxial Jets of High Mean-Velocity Ratio", Trans. ASME. J. Fluids Eng., vol.103, pp. 335~343, 1981
- 6) Ko, N. W. M., and Au, H., "Spreading Rate and Reattachment of Coaxial Jets of High Mean-Velocity Ratio", Trans. ASME. J. Fluids Eng., vol.104, pp. 400~411, 1982
- 7) Au, H., and Ko, N. W. M., "Coaxial Jets of Different Mean Velocity Ratios. Part 1" J. Sound Vib., vol.100, pp.211~224, 1985
- 8) Au, H., and Ko, N. W. M., Coaxial Jets of Different Mean Velocity Ratios, Part 2, J. Sound Vib., vol. 116, pp.211~224, 1985
- 9) Williams, T. J., Ali, M. R. M. H., and Anderson, J. S., Noise and Flow Characteristics of Coaxial Jets, J. Mech. Eng. Sci., vol.11, pp.133~142, 1969