

# 에어젯트 노즐의 설계 제량에 대한 연구

## A Study on the Design Parameters of the Air Jet Nozzle

정성일 · 김경훈 · 김승진\*

경희대학교 기계공학과, 영남대학교 섬유공학부\*

### 1. 서 론

고압의 공기를 이용하는 에어젯트 직기에 대한 연구가 근래에 들어 많이 진행되고 있다. 그러나 연구가 거듭됨과 동시에 많은 문제점들이 발생되고 있으며, 이중에서도 특히 고압공기의 과다소모로 인한 소음 및 진동과 경제성의 저하 등의 원인이 되는 주노즐의 설계에 있다. 에어젯트 직기에서의 가장 큰 문제점은 위사를 어떻게 효율적으로 멀리까지 또한 확실하게 비주시킬 것인가 하는 것이다. 이 문제에 대해서 많은 공학자들이 연구한 실험결과들이 많이 알려져 있으나, 정밀한 기자재의 부족과 현 시대에는 맞지 않는 데이터들이 많아 새로운 연구가 절실히 요구되고 있다. 이에 부응하여 우리는 과거에서부터 연구되어진 결과들과 가속관의 내경변화, Straight tube type pipe 와 Laval tube type pipe의 비교 검토, 가속관 출구의 유동분포 등을 검토·실측하여 보다 나은 해석으로서 최적의 에어젯트직기 노즐을 설계함이 목적이다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험장치

##### 2.1.1 분사 공기압력 조절장치

압축공기는 Fig. 1과 같이 공기원인 콤프레셔로부터 에어휠타, 공기탱크, 압력조절기, 압력계, 면적형유량계를 거쳐 주노즐로 유도된다. 솔레노이드밸브를 설치하여 유동이 적당한 시간간격으로 간헐류가 아니고 정상 분사류가 되도록 하였다.

##### 2.1.2 노즐과 니들 및 가속관

Fig. 2에서와 같이 주노즐은 노즐본체, 니들, 가속관 등의 크게 세 부분으로 구성되어 있으며 Fig. 2에서 (a)는 주노즐의 니들 부분, (b)는 노즐본체와 가속관, (c)는 주노즐, (d)는 가속관에서 공기압력을 측정하기 위해 뚫은 구멍의 확대도를 보인다. 니들은 그 중심부에 위사 통로를 가지며, 그 선단부는 가늘게 테이퍼 상태로 가공하여 노즐 본체에 삽입시켰다. 노즐 본체의 공기 삽입구(Fig. 2(c)의 ㉠)로부터 들어온 압축공기는 제 1공기 집합부 ㉡로부터 니들의 외주를 따라 유동하며, 니들 외주표면에 방사상으로 배치된 정류자의 사이를 통과한 후, 제 2공기 집합부 ㉢를 경유해서 테이퍼 주위로 진행되어 나간다. 테이퍼 주위 통로는 니들의 선단부로 진행함에 따라 통로 단면적이 좁아진다.

그 후 공기의 유동은 가속관내로 이어지기 때문에 통로가 급격하게 확대된다. 가속관내의 유동은 관의 직경이 일정하기 때문에 Fanno유동이 되며, 최종적으로 가속관 출구를 거쳐 대기 중으로 방출된다.

Fig. 2에 나타난 주노즐 각부의 치수는 니들 선단부 외경  $d_0=3.5\text{mm}$ , 내경  $d_1=2.9\text{mm}$ , 가속관 내경  $D=4.0\text{mm}$ , 가속관 길이  $L=270\text{mm}$ 이며 또한 가속관의 내경을 변화시키기 위하여 (즉  $D=3.0\text{mm}$  로 하기 위하여 )별도의 니들 선단부가 설계 제작되었다.

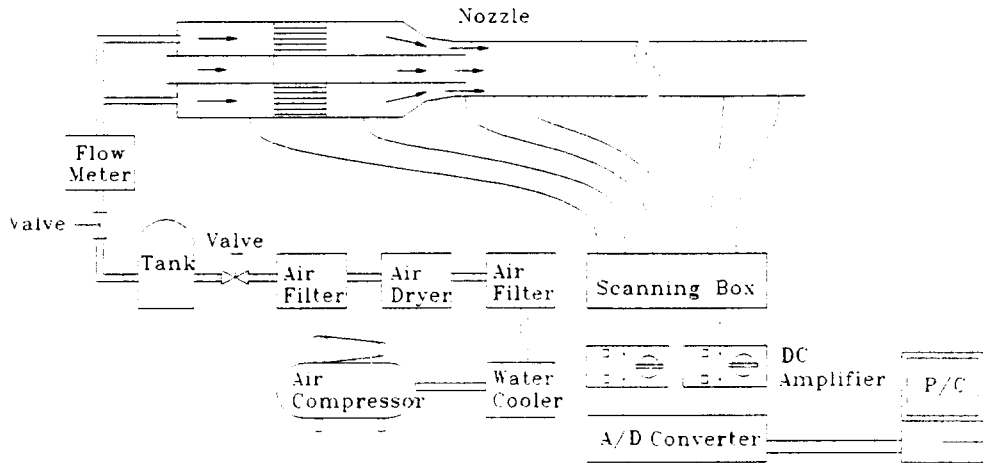


Fig. 1 Schematic outline of experimental apparatus

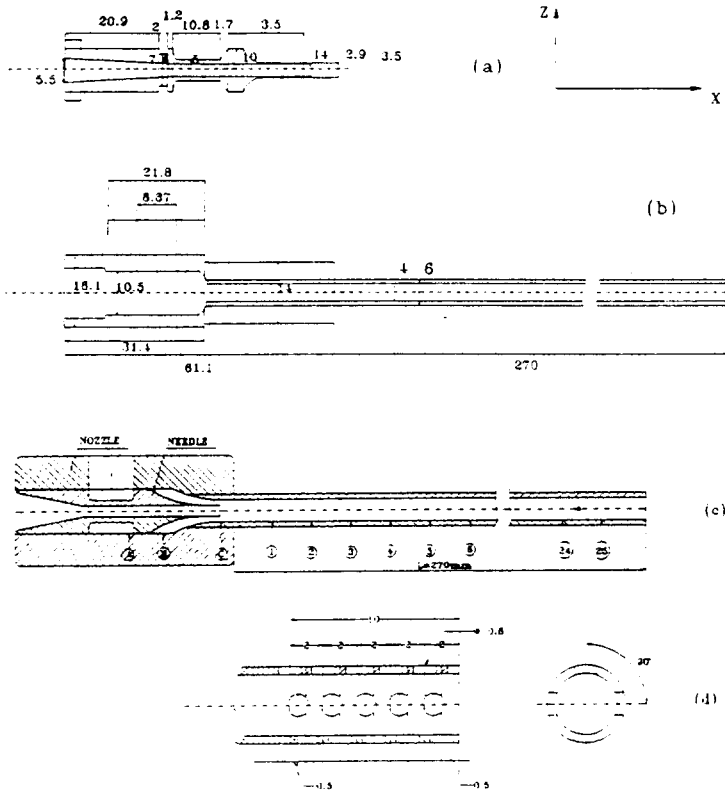


Fig. 2 Configuration and dimension of main nozzle

### 3. 실험결과

#### 3.1 가속관 내경 변화에 따른 유동해석

##### 3.1.1 가속관 영역내에서의 유동-Fanno유동

가속관내에서의 유동의 특징은 단면적이 일정한 가속관통로에 유체가 외부와의 열전달이 없고 마찰유동을 하는 Fanno유동으로 해석한다. 노즐내의 유동은 등엔트로피유동으로 가정하고 일정단면유로에서 Fanno유동할 때 유동거리 X에 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 덕트내의 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.

$$\text{연속방정식 : } \rho dV + Vd\rho = 0 \quad (3.1.1)$$

$$\text{운동량방정식 : } -\frac{dF_f}{A} - dP = \rho V dV \text{ 또는 } dP + \rho V dV = -\left(\frac{f dx}{D_H}\right) \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (3.1.2)$$

$$\text{에너지 방정식 : } dh + d\left(\frac{V^2}{2}\right) = 0 \quad (3.1.3)$$

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

$$\frac{f}{D_H} dx = \frac{2}{kM^2} \frac{1-M^2}{1 + \frac{k-1}{2} M^2} \frac{dM}{M} \quad (3.1.4)$$

유로 출구단에서 유동조건이 음속유동이 되는, 즉 질식유동이 되는 유로를 가정한 출구단 (M=1이 되는 단면)을 기준으로 하여 마하수가 M인 단면까지의 거리를  $L^*$ 라 가정하면 식 (4.3.4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{fL^*}{D_H} = \frac{1-M^2}{kM^2} + \frac{k+1}{2k} \ln \left[ \frac{(k+1)M^2}{2+(k-1)M^2} \right] \quad (3.1.5)$$

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

$$\frac{T}{T^*} = \frac{k+1}{2+(k-1)M^2} \quad (3.1.6)$$

$$\frac{P}{P^*} = \frac{1}{M} \left[ \frac{k+1}{2+(k-1)M^2} \right]^{1/2} \quad (3.1.7)$$

$$\frac{\rho}{\rho^*} = \frac{1}{M} \left[ \frac{2+(k-1)M^2}{k+1} \right]^{1/2} \quad (3.1.8)$$

윗 식에서 임의의 단면 x에서의 마하수를 구할 수 있다.

### 3.1.2 직경 4mm에서의 유동 분석

Fanno유동이 안정된  $P_T=5\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 의 경우에 있어서 임계거리  $L=195.67$ 을 얻을 수 있었다. 그러나 이런 조건에서는 압축공기의 소비량이 매우 많고, 위사의 직진성과 추진력의 결여가 큰 문제로 대두되었다. 또한 타 제품과 비교해볼 때 직경 4 mm의 가속관이 최적상태가 아니라면 임계거리의 의미도 퇴색되고 있음을 알 수 있었고, 되도록이면  $P_T$ 를 크게 하지 않는 것이 바람직하다고 사료되어  $P_T < 4\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 의 범주에서 임계거리를 찾아야 할 것이다.

### 3.1.3 직경 3mm에서의 유동분석

직경 4mm에 있어서의 문제점들이 다소 보완되고, 임계거리가 약간 수정되었지만, 성능의 혁신은 기대만큼 미치지 못했다. 더욱 더 많은 자료의 보완이 요구된다고 사료된다.

## 3.2 Straight tube type pipe와 Laval tube type pipe 비교분석

과거 Uno등의 연구내용을 살펴 보면 Straight tube type 이 Laval tube type 보다 성능이 훨씬 뛰어남을 제시하고 있으나 당시에는 Laval의 각도  $\theta$ 가 너무 크고, Laval tube의 상대길이가 짧음 등의 사항들이 문제점으로 지적되었다. 본 연구에서는 이를 개선하여 가속관 입구내경  $D_i = 3\text{mm}$ , 가속과 출구내경  $D_o = 4\text{mm}$  그리고 가속관 tube 길이를  $L = 85 \sim 190\text{mm}$  까지 4종류로 선택하여 실측해 본 결과 압축공기의 속도가 전체적으로 20% 상승하였고 더불어 실에 작용하는 추진력도 훨씬 강하여짐을 알 수 있었으며, 이는 Fanno 유동의 상태에서도 이를 파악할 수 있었다.

## 3.3 가속관 흡입공의 효과

위사의 효율적인 비주거리의 확보를 위하여 일부 가속관의 입구쪽에 흡입구멍을 뚫고서, 가속관 임계길이 이후에서의 유동의 불안정성에 대한 대책의 일환으로 간주되어 왔으나, 본 실험을 통하여 얻어진 결과에 의하면 무관한 것으로 사료되고 단지 위사의 직진성에 있어서 펄러임이 다소 둔화됨을 알 수 있었으나 반면 압축공기의 과소비가 더욱 조장됨도 알 수 있었다. 즉 위사의 추진력이 둔화되고 있음을 나타내고 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 에어제트직기의 위입성능을 향상시키기 위하여 에어제트노즐의 최적설계에 그 목적이 있으며 특히 가속관의 내경, 가속관의 흡입공 및 가속관 tube의 type 등을 해석하였으며 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 압축공기의 탱크압력  $P_T$ 를 크게 하지 않는 것이 바람직하다고 사료되었고, 직경 4mm에 있어서의 문제점들이 직경을 3mm로 수정했을 때 많이 보완되었다.
- (2) Laval tube type 이 Straight tube type 보다 압축공기의 속도가 전체적으로 20%상승되었고, 실에 작용되어지는 추진력도 훨씬 강해졌음을 알 수 있었다.
- (3) 가속관 입구쪽의 흡입공은 가속관 임계길이 이후에서의 유동의 불안정성에 무관하다.

## 참고문헌

- 1) T. Ishida, Textile News, Jpn. 6(1982)
- 2) T. Ishida, Textile News, Jpn, 8(1982)
- 3) M. Uno, J. Textile Machin. Soc. Jpn, 18(1972)
- 4) M. Ishida, Textile Res. J. 64(1)(1994)
- 5) P. Grosberg, W. Oxenham, M. miao, J. Text. Inst. 189(1987)
- 6) P. Grosberg, W. Oxenham, M. miao, J. Text. Inst. 204(1987)
- 7) S. Adnur, M. H. Mohamed. J. Text. Inst 297(1988)
- 8) S. Adnur, M. H. Mohamed. J. Text. Inst 316(1988)
- 9) S. Adnur, M. H. Mohamed. J. Text. Inst 45(1992)
- 10) S. Adnur, M. H. Mohamed. J. Text. Inst 56(1992)
- 11) S. Adnur, M. H. Mohamed. Text. Res. Inst. 259(1991)
- 12) M. Uno, J. Textile Machin. Soc. Jpn, 37(1972)
- 13) M. Uno et al, J. Textile Machin. Soc. Jpn, 28(1961)
- 14) V. Duxbury, P. R. lord, T. B. Vaswani, J. Textile Inst. 558(1959)
- 15) V. P. Lyubovitskii, Tech. Text. Ind. USSR, 136(1966)
- 16) V. A. Pilipenko, Moscow Text. Ins. 126(1968)
- 17) V. A. Pilipenko, Moscow Text. Ins. 107(1964)