

에어제트직기의 현재와 미래(I)

1. 에어제트직기의 발명

가. 에어제트직기는 새로운 착상의 직기가 아니다.

에어제트 방식으로 위입을 한다는 착상은 본래 새로운 일이 아니다. 약 70년전 미국의 Brooks가 일종의 에어제트직기를 발명해냈다. 문헌에 따르면, 그 에어제트직기는 아래와 같은 몇 개의 흥미있는 특징을 갖고 있다.

- 1) 조용히 가동되며,
- 2) 위사의 사절이 줄어들었으며,
- 3) 슬라이버로도 제작이 가능했으며,
- 4) 전력 소비를 절감할 수 있다.

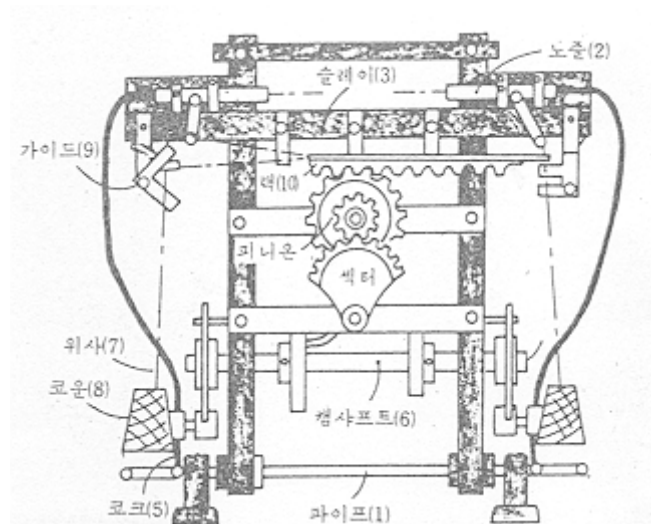
1929년, 미국에서 Ballou가 또 다른 방식으로 특허를 받았다. 그 후 1949년에 체코의 Svaty가 45cm의 바디폭을 갖는 에어제트직기를 만들었다. 이 직기는 폭이 좁았기 때문에 사용범위에 한계가 있었다. 스웨덴의 Paabo가 Svaty의 직기보다 폭이 더 넓은 에어제트직기를 만드는데 성공했다. 1958년 Paabo의 90cm폭을 갖는 에어제트직기가 맨체스터에서 전시되었다. 그 이후로 ITMA71(파리)까지 에어제트직기의 개발은 이 두 직기의 출현으로 활성화되었다.

멀티노즐(multi-nozzle)과 하나의 에어가이드(air guide)를 사용하는 현재의 위입시스템은 아마도 Ruti Machinery Works사가 ITMA71에 “Te Strake” 직기를 전시한 이후, 에어제트직기의 개발에 착수하고부터 가속화 되었을 것이다.

나. 초기의 에어제트직기

에어제트(air-jet)를 처음 사용한 것은 1914년 Brooks가 특허를 받은 때였다.

그림1은 Brooks가 만들었던 에어제트직기의 원형을 나타낸 것이다. 파이프(1) 내의 압축공기가 캠(4)과 코크(5)에 의해 직기의 슬레이(2) 양쪽에 있는 공기 노즐에 공급된다.



<그림 1> 에어제트직기의 원형

캠은 캠샤프트(6)위에 부착되어 있다. 위사(7)가 코운(8)으로부터 풀려나와 얀가이드(yarn guide : 9)를 통해서 통과하면서 랙(10)에 의해 위사길이가 측정된다. 랙은 섹터(11)와 피니온(12)에 의해 작동된다. 길이 측정장치로부터 위사가 노즐로 공급된다. 위사는 양쪽에서 교대로 위입되지만 어느 한쪽에서의 두 번째 위입이 완전히 끝나고 나서야 위사가 절단된다. 따라서 직물의 변은 양쪽에 헤어핀(hair-pin)모양의 매듭으로 만들어진다. 1927년 이 에어제트직기로 약 50cm폭의 직물을 제직했다.

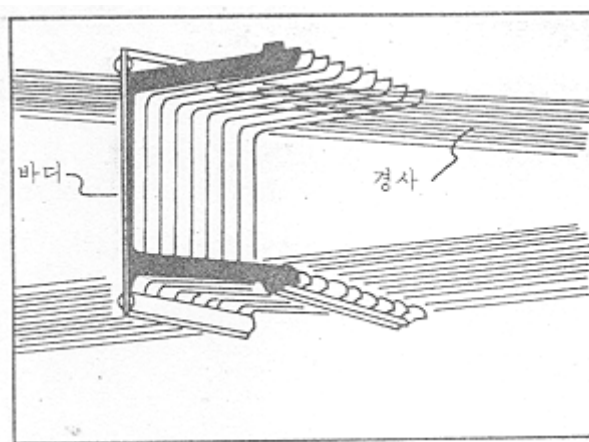
Brooks는 그의 특허원에 다음과 같이 기록했다. “나는 위사를 개구속으로 밀어넣기 위해 짧고 빠른 한 줄기 공기바람을 사용하면 몇 가지 장점이 있다는 것을 알아냈다. 또한 위입을 위해 이 방법을 사용할 때는 각 위사올이 공기바람에 의해 작용을 받을 때 위입되는 위사길이가 제한을 받지 않도록

하는 것이 바람직하다.”

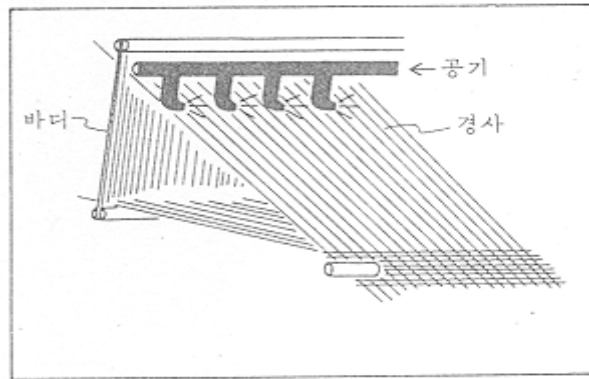
1929년, Ballou가 에어노즐과 함께 흡입노즐을 사용하여 위입하는 한 에어 제트방법으로 특허를 받았다. 그는 그의 특허원에 “위사가 구부러지는 것을 펴지게 하기 위해서 뿐만 아니라 직물의 변이 일치하도록 위사울의 앞끝이 반대편에 올바르게 자리잡을 수 있도록 하며, 또한 바디침을 하기 전에 열려있는 개구속으로 위사가 또 들어가는 것을 막기위해 흡입노즐이 필요하다.”고 밝혔다.

Ballou는 또한 그림2에서 볼 수 있듯이 위사와 경사들이 엮히는 것을 막기 위해서, 또 공기의 흐름을 조절하기 위해서 가이드 리드(guide reed)를 고안했다. 그러나 실제로 그러한 생각들은 성공하지 못했다. 그러한 특허 외에 위 입장치를 개선하기 위한 몇 가지 착상들이 보고되었다.

1930년, 미국의 Heywood Wakefield사가 그림3에 나타난 것과 같이 공기속도가 급격히 떨어지는 것을 막기위해 멀티노즐 시스템(multi-nozzle system)을 사용했다.



<그림 2> Ballou에어제트직기의 가이드 리드(guide reed)



<그림 3> 멀티노즐 시스템(multi-nozzle system)

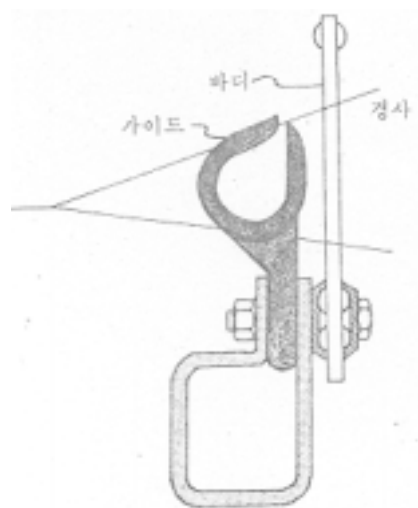
다. 발전단계의 에어제트직기

1956년 Svaty와 Libansky가 직기의 에어제트를 조절하는 장치를 고안해냈다. 그림4에서 보듯이, 이 장치는 멀티 에어가이드 시스템에 의해 경사개구 내의 공기속도를 조절하는 것이다. 이 시스템은 현재 “Elitex”에어제트직기의 P형에 사용되고 있다.

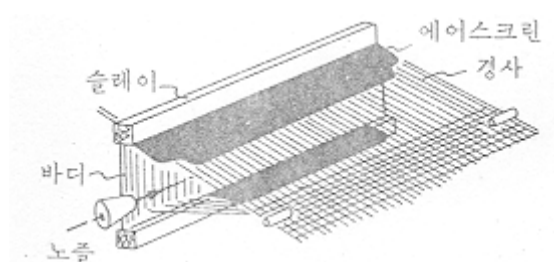
1946년, 스웨덴의 Paabo에 의해 새로운 시도가 이루어졌다. 그는 그의 특허원에서 다음과 같이 기술하고 있다. “이미 알려져 있는 에어제트직기에서는 위사를 경사개구속으로 붙어 넣어주는 노즐이 기계의 슬레이 위에 부착되어 있다. 이것은 매우 불리하다. 왜냐하면 이러한 설계로 인해 제직 중에 여러 결점들이 쉽게 생겨나기 때문이다. 고안해낸 내용을 설명하면, 새로운 형태의 기계에서는 노즐과 위사의 해사장치가 기계 위에 설치되어 있기 때문에 그것들이 슬레이의 왕복운동에 관여하지 않는다.

그는 노즐로부터 공기가 흩어지는 것을 막기 위해 경사개구를 덮는 2개의 판(plate)을 사용했다. 그림5에 에어 스크린 시스템(air screen system)이 나타나 있다. 1961년에, 서독의 Scheffel이 그림6에 나타나 있는 튕 모양의 노즐로 특허를 받았다. 이것이 개구속의 공기의 흐름을 일정하게 유지해준다. 1964년,

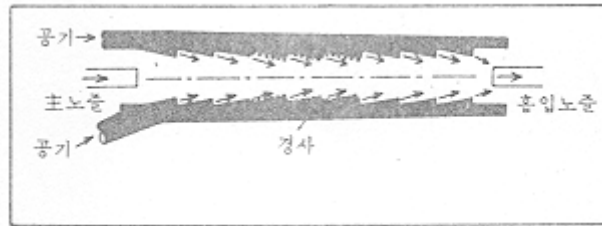
일본의 Saito가 그림7에서 보여주듯이, 각각의 부노즐(sub nozzle)을 시간적으로 조절하기 위해 개개의 공기밸브 시스템(air valve system)을 시도했다. 공기 밸브들은 직기의 슬레이 위에 부착되어 있다. 그래서 위입 중에 위사의 앞끝은 항상 부노즐중의 어느 한 노즐과 그에 따른 밸브로부터 나오는 에어 제트에 의해 추진력을 받게 된다. 1965년, 모스크바에서 소련의 실제사용을 위한 실험단계에 있는 것이었다. 그렇지만 그것은 120cm의 폭으로 되어 있었고 400rpm으로 작동되었으며, 에어 가이드와 흡입노즐이 장치되어 있었다. 당시에 그 직기는 Klimovsk Engineering Works사의 실험실에 있었다. 그래서 소련의 에어 레피어 직기인 “ATPR” 직기는 이 에어제트직기로부터 개발된 것으로 보여진다.



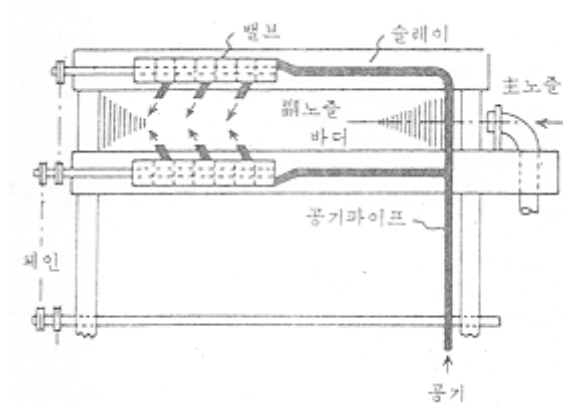
<그림 4> 에어 가이드 시스템(air guide system)



<그림 5> 에어 스크린 시스템(air screen system)



<그림 6> 톱 모양의 노즐 시스템



<그림 7> 개별적 공기밸브시스템(individual air valve system)

라. 현재 판매되고 있는 에어제트직기

Te Strake는 ITMA71(파리)에 400rpm의 속도를 갖는 180cm 폭의 에어제트직기 5대를 내놓았다. 이 직기들은 멀티노즐과 에어가이드뿐 아니라 측면 리드(profile reed)가 장치되어 있었다. 또한 이 직기들은 필라멘트위사로 제작할 수가 있었다.

ITMA75(밀라노)에서는 3개의 Ruti-Te Strake에어제트직기와 5개의 Investa(체코) 에어제트직기가 소개되었다. 그것들은 다음과 같은 특징을 갖고 있었다.

1) Ruti-Te Strake 직기

가) 폭 134.5cm, 450rpm : 면셔츠용

나) 폭 154.5cm, 430rpm : 면캘리코(Calico)용

다) 폭 180cm, 400rpm : 방적 레이온사를 사용하는 안감(lining)용

2) Investa직기

가) 폭 121cm, 350rpm : 유리섬유직물용(p형)

나) 폭 118cm, 450rpm

다) 폭 147cm, 375rpm : 레이온사 안감용(p형)

라) 폭 159.5cm, 375rpm : 폴리에스터 방적사직물용(p형)

마) 폭 230cm, 350rpm : 면 코듀로이용(JETTIS)

Ruti- Te Strake에 에어제트직기들은 Te Strake직기들을 개조한 것이었다. 그 직기들은 처음에는 주 노즐에 의해 위사가 가속을 받는다. 그 후에는 직기의 전폭을 따라 배열되어 있는 전달 제트 노즐(부노즐)에 의해 위사가 가속을 받게된다.

Investa 에어제트직기의 p형의 경우에는 ITMA75(밀라노)가 개최될 때 까지 이미 세계 도처에서 약 35,000대의 직기가 상업적으로 직물을 짜기 위해 가동중에 있던 것으로 알려졌다. 이 p형의 직기들은 노즐로부터 나온 공기줄기가 이미 측정된 위사를 컨퓨저 채널(confusor channel)을 통해 배열된 경사의 반대편까지 전달한다. 위입효율을 크게 하기 위해 위사는 흡입노즐에 의해 계속 흡입된다.

전시된 Investa에어제트직기의 다른 형은 JETTIS였다. 그것은 p형의 경사선이 기울어져 있는데 반해 경사선이 수평으로 작동된다. 또 이 직기는 새로 개발된 피킹기구가 장치되어 있다. 그것은 방적사나 필라멘트사 모두에 사용할 수가 있다. 이 직기의 특징은 더 빠른 운전속도를 갖고 있으며 제직폭이 넓다는 것이다. 이것은 부수적인 에어노즐, 즉 보조노즐이 장치되어 있는, 특별히 설계한 새로운 피킹 채널(picking channel) 때문에 가능한 것이다.

ITMA79(하노버)에서는 Investa와 Ruti에어제트직기 외에 일본의 삼대 직기

제조회사인 쓰다코마(Tsudakoma), 닛산(Nissan) 그리고 도요다(Toyota)가 그들의 새로 개발된 에어제트직기를 선보였다. 이 일본 에어제트직기들은 사용된 위입기구의 원리에 따라 구분할 수가 있다.

쓰다코마의 에어제트직기는 Ruti형이며, 닛산의 직기는 Investa형이고, 도요다의 직기는 Ruti와 Investa형을 혼합한 형이었다. ATME-I 80(그리인 빌)에서는 그곳에 전시된 95대의 직기중에서 8개의 직기제조회사에서 26종류의 에어제트직기를 선보였다. 그래서 직기제조회사들이 “제트직기의 전쟁터”에 놓여 있다고 이야기 되었다.

1981년 현재 세계에서 가동되고 있는 에어제트직기의 수는 다음과 같이 추정된다.

서유럽 : 4,500대

미 국 : 4,600

일 본 : 1,200~1,500

대 만 : 600대

동유럽 : 28,000~30,000

중 국 : 4,000

2. 어떻게 위사를 경사개구 속으로 넣는가?

가. 위사에 작용하는 추진력

미리 길이가 측정된 위사가 공기의 흐름에 의해 노즐로부터 경사개구 속으로 들어가게 된다. 즉 기류에 의한 위입시스템의 원리이다. 그림8에 나타나 있듯이 기류중에 놓여있는 어떤 물체에 힘을 받게 된다. 이 힘을 견인력(drag)이라 부르며 주로 아래와 같은 요인에 좌우된다.

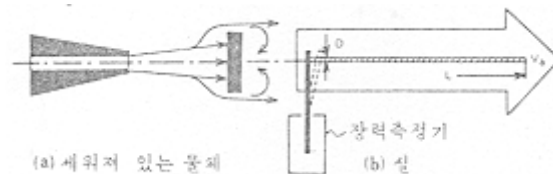
1) 그 물체의 크기

2) 표면특성

3) 기류의 속도

4) 공기밀도

따라서, 이 견인력은 $D = C_d \times \frac{1}{2} \rho V^2 \times A_p$ 로 나타내 지는데, 여기서 $\frac{1}{2} \rho V^2$ 은 주기류의 역학적인 원동력이고 A_p 는 그 물체의 기류에 수직인 면의 넓이이며 C_d 는 견인계수(drag coefficient)로 Reynold수(Reynold's number)와 표면의 거친 정도 그리고 난류수준의 함수이다.



<그림 8> 기류중에 놓여있는 물체들

에어제트직기에서는 노즐로부터 발사된 위사는 기류와 위사사이의 마찰 때문에 생겨나는 견인율이 위사에 작용하게 되어 그 속도로 나아가게 된다. 예를 들어 Fletcher는 기류중에 길이 방향으로 놓여있는 여러 가지 실에 대해 견인력을 측정하였는데 공기의 속도가 18.3m/sec 이상에서는 공기의 견인력과 실의 직경 그리고 공기속도 사이에는 대략 $F = k \times d \times v^2$ 의 식이 성립한다고 설명하였다. 여기서 F 는 공기 견인력(g/cm)이고, d 는 실의 직경(micron), V 는 공기속도(m/sec)이다. K 의 값은 방적단사의 경우는 1.12×10 , 방적합사는 1.00×10 , 콘덴서 방적사(condenser spun yarn)는 0.79×10 , 가스 소모 방적사는 0.45×10 , 필라멘트사는 0.15×10 이었다.

그러나 기류중에서 실을 이동시키는 추진력으로써의 견인력을 알기 위해서는 공기의 흐름과 실사이의 상대속도를 고려해야만 한다. 따라서 기류중에서

실을 나아가게 하는 견인력은 $F = \rho \times f \times D \times L \times (V_a - V_t)^2$ 으로 나타나게 된다. 여기서 ρ 는 공기밀도, f 는 실의 표면형태에 따른 마찰계수, D 는 실의 직경, L 은 실의 길이, $(V_a - V_t)^2$ 은 상대속도가 된다. 표1로부터 에어제트 시스템의 가장 뚜렷한 특징은 에너지가 많이 소요된다는 것을 알 수 있다.

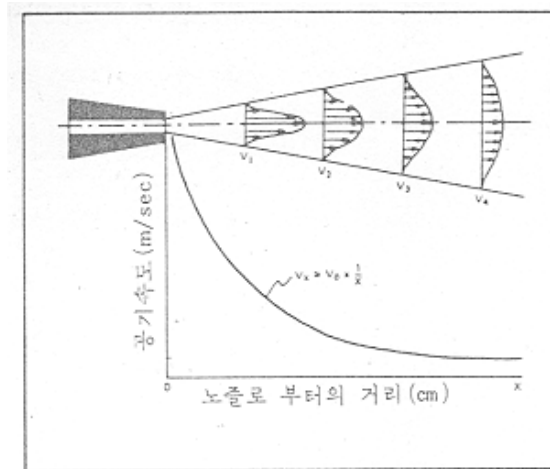
<표 1> 여러 종류의 위입시스템의 비교

輸入機構	위사의 속도(m/sec)	機構의 속도(m/sec)	機構의 운동에너지(kg · m)
복	7 - 13.5	7 - 13.5	1 - 3.7
그 리 머	20 - 25	20 - 25	0.8 - 1.3
에 어 제 트	20 - 30	300	1.1 - 2.3
위 터 제 트	30 - 50	40 - 60	0.02 - 0.18

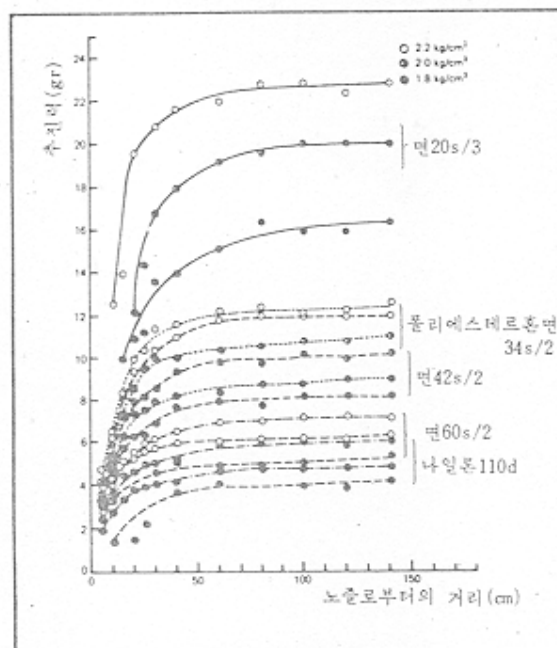
나. 추진력과 그의 유효범위

공기의 흐름에 있어, 노즐로부터 x 만큼 떨어진 거리에 있는 공기의 속도는 거리가 증가할수록 감소한다. 즉 그림9에서 보듯이 $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$ 가 된다. 실에 대한 공기 견인력은 공기의 흐름과 실사이의 마찰에 의해 생기기 때문에 노즐로부터의 거리에 따른 속도분포 도표는 추진력의 유효범위(거리)를 아는데 매우 중요하다. 공기의 흐름과 그 흐름중에서 움직이는 실사이의 관계는 $K = (V_a - V_t)^2$ 으로 나타나는 것처럼, 공기의 속도는 항상 실의 속도보다 빨라야 한다. 그렇지 않으면 실의 진행은 지연되게 된다.

그림10은 Kyoto University of Industrial Arts and Textile에서 실험용 에어제트 직기를 사용하여 얻어낸 결과를 나타낸 것이다. 실험한 실의 한 끝은 장력측 정기에 매고, 다른 한 끝은 노즐을 통해 개구속으로 들여보냈다. 노즐로부터 나오는 실의 길이는 실험조건에 따라 조정하였다. 직기는 후심(back center)에서 멈추었다. 즉, 경사개구의 깊이가 최대가 되었을 때 멈추었다. 압축공기는 120rpm속도로 에어밸브를 통해 배출되었다.



<그림 9> 축방향의 속도 분포



<그림 10> 실에 작용하는 추진력

그림10으로부터 여러 종류의 실에 작용하는 추진력은 노즐로부터 나아간 실의 길이가 길수록 증가하는 것을 알 수가 있다. 그러나 노즐로부터 약 40cm가 떨어지면 그 이후로는 추진력은 증가하지 않는다. 이것은 이 경우에

실을 추진시킬 수 있는 기류의 유효거리는 노즐로부터 40cm가 된다는 것을 나타낸다. 다시 말해서, 시이 공기의 유출에 의해 노즐로부터 발사 되었을 때 실의 앞부분은 실의 뒷부분을 노즐로부터 약 40cm 거리 까지 당길 수 있다는 것을 의미한다. 40cm 이후에는 실의 앞부분에 작용하는 추진력은 공기의 속도가 떨어짐에 따라 감소하게 된다. 따라서 어느 정도의 거리에서는 노즐로부터 막 발사된 위사의 뒷부분이 그 앞부분보다 빠른 속도로 나아가게 된다. 그러면 뒷부분은 어떤 다른 조치를 취해 주지 않으면 구부러지게 될 것이다. 그러나 실제로 압축공기는 위사의 앞부분만을 가속시키기 위해 짧고 빠른 한 줄기의 바람으로써 노즐로부터 배출되었기 때문에 위사의 구부러짐은 줄어들게 될 것이다. 그림11에 맨체스터대학(UMIST)에 있는 Maxbo원형 에어제트직기의 노즐로부터 대기로 발사된 3가지 종류의 실의 움직임이 나타나 있다. 이 결과로부터 위사를 구부러지지 않게 배출할 수 있는 방법을 알아내야 하는 것이 에어제트직기를 개발하기 위한 가장 근본적인 목표중의 하나라는 것을 알 수 있다.

다. 현재 사용되고 있는 직기에 장치되어 있는 위입시스템

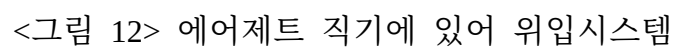
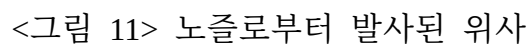
일본은 에어제트에 의한 제직 기술에 있어서는 선진국중의 하나이다. 현재 3대 직기 제조회사인 쓰다코마, 닛산, 그리고 도요다는 각자 매우 자랑할 만한 에어제트직기들을 갖고 있다. 제 2회 OTEMAS(오오사카, 1981년)에 전시된 각 회사 직기들에 사용된 위입시스템의 주요 특징은 다음과 같으며 그림 12에 나타나 있다.

1) 노즐

가) 단독 노즐(닛산)

나) 멀티 노즐(쓰다코마, 도요다)

나) 한번 위입되는 길이 측정 드럼(3회사가 모두 직물에 따라 두 시스템을 갖추고 있다)



3) 바디

가) 일반형(닛산, 도요다)

나) 특수형(쓰다코마)

4) 슬레이

가) 노즐과 함께 움직이는 형(쓰다코마, 도요다, 닛산)

나) 주노즐과 관계없이 움직이는 형(닛산)

5) 위사가이드(에어 가이드)

가) 바디와 독립된 형(닛산, 도요다)

나) 바디와 결합된 형(쓰다코마)

6) 위사끝 흡입장치

가) 장치되어 있음(닛산)

나) 장치되어 있지 않음(쓰다코마, 닛산)

닛산제품은 에어 가이드 시스템과 함께 단독노즐을 사용하고 있다. 위사는 위사공급기구로부터 직접 길이 측정장치로 이어진다. 한올의 길이가 측정되면 흡입 튜브 스트레이즈로 옮겨간다. 그리고나서 위입을 위해 위입때 마다 실을 번갈아서 잡았다 놓아 주었다 하는 위사 그리퍼를 통해 노즐속으로 들어간다. 도요다제품은 멀티 노즐과 위사 가이드 시스템을 갖고 있다. 미리 길이가 측정된 위사는 주노즐을 통해 일련의 위사 가이드, 보조 노즐, 그리고 공기 밸브로 이루어진 실 이동장치속으로 배출된다. 이 실의 이동장치의 기능은 주노즐로부터 배출된 위사를 개구의 반대쪽 끝까지 이동시키는 것이다. 즉 릴레이 노즐 시스템이다. 쓰다코마제품 역시 멀티 노즐과 위사 가이드 시스템을 갖고 있다. 그러나 위사 가이드가 바디의 일부분으로 장치되어 있다. 즉 위사진행통로(weft tunnel)를 갖춘 바디이다.

위에서 언급했듯이, 일본의 직기제조회사들은 에어가이드나 위사 가이드

시스템을 사용함으로써 실에 작용하는 추진력의 유효범위를 크게 하려고 시도하고 있다. 이러한 가이드는 실의 속도를 유지하고 안정시키며 또한 압축공기를 가장 효과적으로 이동시키는데 중요한 역할을 하고 있다. 그렇기 때문에 추진력을 크게하는 효과적인 방법을 생각하기 위해서는 노즐로부터 배출되는 공기를 조절하는 효과적인 방법과 함께 압축공기의 성질을 고려해야만 한다.

3. 개구내에서 에어제트는 어떻게 팽창하는가?

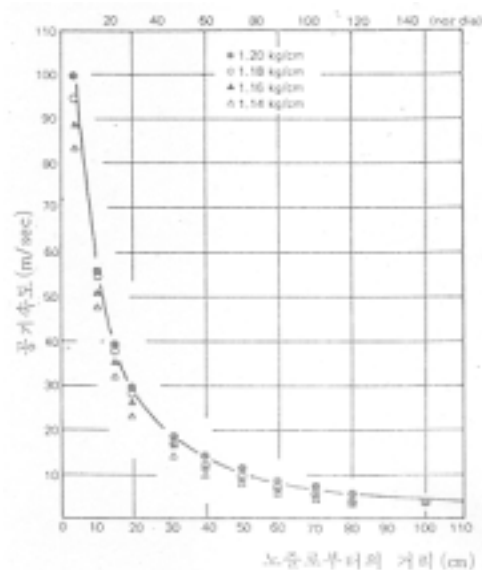
가) 에어제트의 속도분포

워터제트와 비교해서 에어제트의 속도감소는 에어제트의 유체성질 때문에 매우 크다. 즉, 공기는 압축할 수 있고 배출된 공기는 매우 쉽게 퍼져 나간다. 따라서 에어제트직기의 중요 문제점은 노즐로부터 배출되어 나간 압축공기가 엄청나게 팽창하는 것을 어떻게 막느냐 하는 것이다. 앞에서 초기의 직기발명자들이 속도를 조절하기 위해 고안해 낸 여러 가지 장치들에 대해서 설명한 것처럼 예를 들면 가이드 리드, 멀티노즐, 에어 가이드, 에어 스크린 시스템 등이 있다. 그것들 중에서 에어 가이드 시스템이 Investa 직기에 사용되었고, 멀티 노즐 및 에어 가이드 시스템이 도요다직기에 장치되어 있으며 쓰다코마의 Ruti-Te Strake직기에는 멀티 노즐 및 가이드 리드 시스템이 사용되었다. 또한 지금은 시판되고 있지 않지만, Maxbo직기에는 에어 스크린 시스템이 사용되었다.

현재 제직공장에서 많은 에어제트직기들이 가동되고 있지만, 아직까지 에어제트직기로는 재래식 복직기로 가능한 광폭직기를 생산 못하고 있다. 또 앞의 표1에 나타나 있듯이 에어제트직기의 전력소모는 다른 셔틀리스직기(복을 사용하지 않는 직기)에 비해 매우 크다. 이것은 위입을 위한 많은 압축공

기를 만드는데 전력이 많이 소모되기 때문이다. Maxbo형 에어제트직기의 경우에는 전력이 320ppm((picks per minute)에 약 3마력이 사용되었는데, 이에 비해 1965년에 생산된 한 자동복직기의 경우 160ppm에 1마력이었다. 이 예를 보아도 에어제트직기를 개발하기 위해서는 에어제트의 조절방법을 더 발전시키는 것이 필요하다는 것을 알 수 있다.

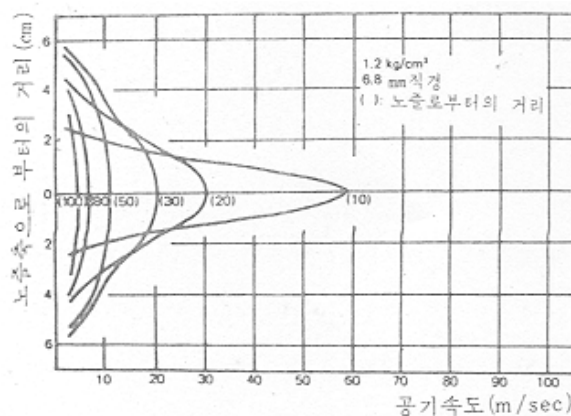
노즐로부터 나가는 공기의 속도는 노즐 밖의 압력(p_1)과 노즐 안의 압력(p_0)의 압력차에 의해서 생긴다. 노즐로부터 배출되는 공기의 초기속도는 $V_0 = \sqrt{2P/\rho}$ 로 나타낸다. 여기서 P 는 p_1 과 p_0 의 압력차이며, ρ 는 노즐내의 공기밀도이다. 그러나 노즐에서 배출되는 공기의 이론적인 최대속도는 음파의 속도 즉, 약 340m/sec, 마하 1이다. 이 속도는 압력차가 1.89(p_1 / p_0 가 0.528) 일 때 생겨날 수 가 있다. 그렇기 때문에 현재 에어제트직기들이 만들어 낼 수 있는 공기의 초기속도는 레벨노즐(Laval nozzle)과 같은 어떤 특별한 노즐을 사용하지 않고는 음파속도보다 더 크게 할 수가 없다.



<그림 13> 대기로 배출된 공기의 축방향의 속도분포

그림13은 Maxbo형 직기의 송풍장치와 연결되어 있는 노즐(직경 0.68 mm, 길이 31mm)로부터 배출되는 공기의 축방향 속도분포를 도표로 나타낸 것이다. 이 속도분포는 0.7mm의 외부직경을 갖는 “pitot tube”를 이용하여 측정했다. 그림에서 보면 노즐로부터 대기로 배출된 공기의 축방향 속도는 급격히 감소한다는 것을 알 수 있으며 노즐로부터 거리가 100cm떨어졌을 때의 속도는 처음 속도의 약 1/20이 된다는 것을 알 수 있다.

그림14는 노즐로부터 떨어진 여러 거리에서 측정한 전면의 공기속도를 나타낸 것이다. 전면의 공기속도분포 도표도 역시 노즐로부터 떨어진 거리에 따라 크게 변화하는데 그것은 배출된 공기가 대기중에서 팽창하기 때문이다.



<그림 14> 대기로 배출된 공기의 전면에서의 속도분포

나) 에어 가이드 시스템에 있어 작은 경사개구의 팽창

공기의 속도 저하를 줄이는데는 개구의 깊이가 작을수록 효과적이다. 그것은 다음과 같은 이유 때문이다. 즉 파이프시스템에 있어 파이프의 각 점에서의 유동 상태는 아래와 같은 유동식으로 나타낸다. 방출량 $Q = A_1V_1 = A_2V_2$ 여기서 A와 V는 각 점에서의 단면적 및 평균 유동속도를 나타낸다. 노즐로부터 대기속으로 공기가 배출되었을 때 그 공기의 유동은 그림9에 나타난 원

추모양으로 진행하게 된다. 배출된 공기유동의 직경은 거리에 따라 직선적으로 증가한다. 직경은 거리에 따라 직선적으로 증가한다. 또한 단면에 대한 속도분포도 거리에 따라 변한다.

배출된 공기는 그 공기 유동이 개구에 닿을 때까지는 자유롭게 팽창한다. 개구의 크기가 노즐 크기에 비해 너무 크면 배출된 공기의 유동이 경사와 접촉하기도 전에 거의 대부분이 팽창해 버린다. 예를 들어, Maxbo형 에어제트직기의 경우 개구의 높이는 바디에서 약 4cm 슬레이의 진폭은 14.5cm, 노즐의 단면적은 0.384cm^2 이다. 따라서 개구의 단면적은 29cm^2 가 된다. 개구와 노즐의 단면적의 비가 75 : 1 이 되는 것이다. 즉 배출된 공기유동의 부피는 노즐로부터 처음 배출되었을 때의 부피의 75배로 팽창하게 된다. 이 경우, 에어 스크린은 개구 내에서 상당히 좋은 속도분포를 유지하기에는 별로 효과적이 못 된다는 것이 분명하다. 에어 스크린이 사용된다면 개구는 가능하면 작게 만들어져야 한다. 그러나 광폭직기(보통 직물폭을 위한)에 작은 경사 개구 시스템을 사용하면 다음과 같은 문제점이 생기게 된다.

1) 깨끗한 경사개구

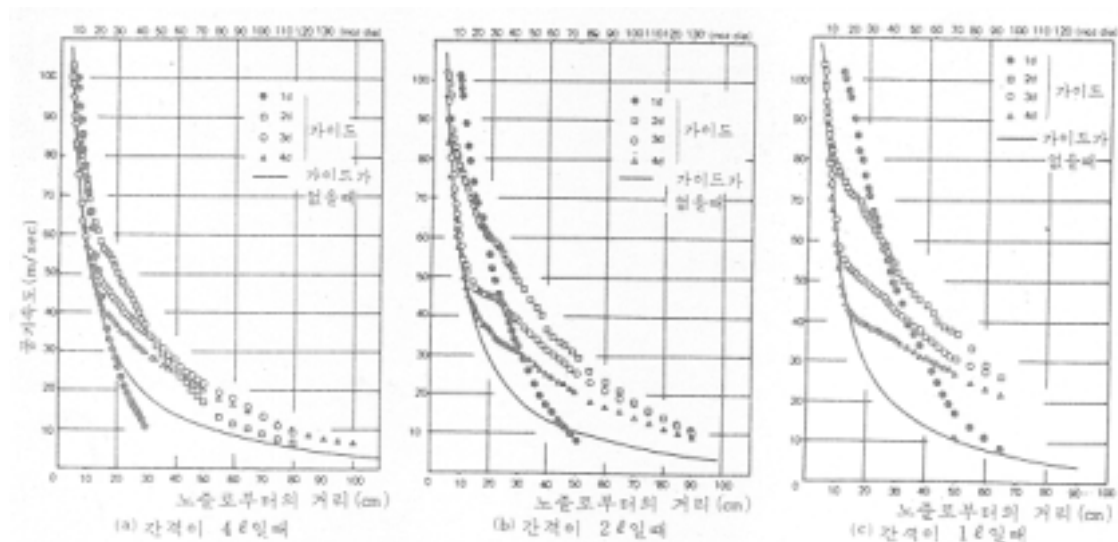
작은 개구 시스템이 사용되면 슬럽(slub)이나 매듭(knot)이 위사에 대해 비교적 큰 장애물이 될 것이다. 경사개구를 깨끗이 유지하기 위해서는 작은 경사개구 시스템은 세사에 알맞을 것이다. 양모와 마 같은 굵은 실을 위해서는 개구의 크기가 커야 한다. 그러한 문제점을 피하기 위해 앞에서 설명한 에어 가이드나 가이드 리드와 같은 모조 개구(dummy shed)를 사용하는 것이 바람직하다.

2) 경사 준비

작은 개구 시스템을 위한 경사 준비는 이 시스템을 성공적으로 사용하기 위한 가장 중요한 인자이다. 이것은 슬럽이나 매듭을 방지할 뿐 아니라 균일

한 경사장력을 유지하기 위한 것이다. 개구의 크기가 매우 작을 때 불균일한 경사 장력은 위사에 방해가 되는 경사개구를 만들게 된다. 경사개구의 깊이가 작기 때문에 경사들 사이의 장력이 불균일한 것을 흡수하기가 어렵다.

이러한 이유 때문에 현재 사용되고 있는 에어제트 직기들은 에어 가이드 시스템과 가이드 리드 시스템을 채용하고 있다. 그림15는 에어 가이드 직경과 가이드 플레이트 사이의 간격의 효과가 공기속도 분포에 미치는 팽창에 대한 실험적인 결과를 나타낸 것이다. 사용된 노즐의 직경은 6.8mm 이며 에어 가이드 플레이트는 직경은 다르나 두께가 2mm인 플라스틱 플레이트로 되어 있다. 나타난 결과를 보면, 공기속도의 저하를 줄이기 위한 최적조건은 가이드의 직경이 노즐 직경의 3~4배 정도 크고 가이드 플레이트 간격을 최소로 함으로써, 즉 $1\ell : 2\text{mm}$ 로 함으로써 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 각 에어 가이드 플레이트의 직경을 노즐로 부터 떨어진 거리에 따라 변화시킴으로써 속도 저하를 더 줄일 수 있는 가능성이 있다.



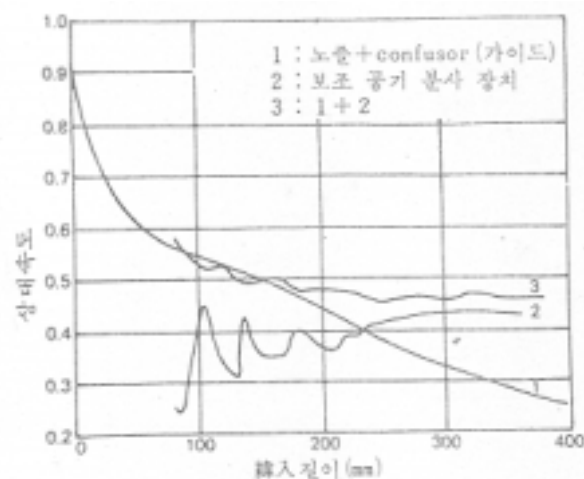
<그림 15> 여러 종류의 가이드를 사용했을 때의 축방향으로의 공기속도

($d : 6.8\text{mm}$, $\ell : 2\text{mm}$, 1.2kg/cm^2)

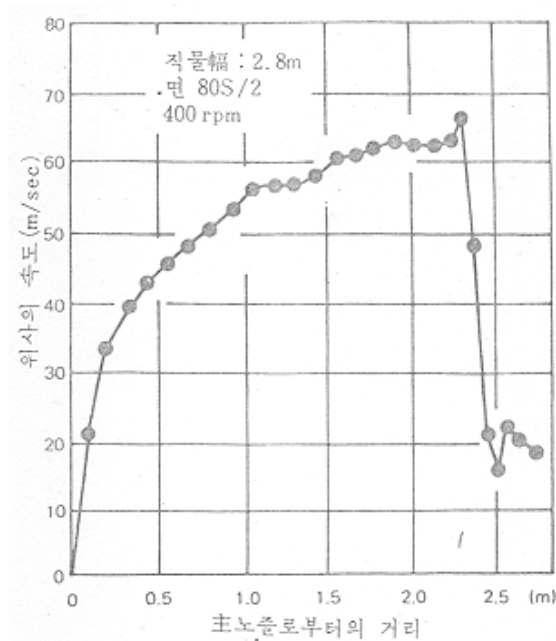
다) 위입 길이를 늘렸을 때의 멀티 노즐 시스템의 영향

노즐과 에어 가이드를 사용한 에어제트직기의 위입시스템은 노즐로부터 배출되는 공기 유동을 조절할 수 있는 중요한 특징을 갖고 있다. Investa사의 발표에 따르면, 압축공기가 대기로 배출될 때의 노즐로부터 거리가 1.5m 떨어진 점에서의 공기속도는 최초 배출속도의 단지 4%에 달할 뿐이다. 그러나 에어 가이드 직경에 따라서 노즐로부터 1.5m 떨어진 점에서의 공기속도는 최초 배출속도의 14~23%에 달하게 된다.

Investa직기의 에어 가이드(confusor)와 노즐 시스템에 의한 이론적인 최대 위입길이(picking length)는 2.5m로 보고되어 있다. 이 길이는 노즐입구로부터 컨퓨저(confusor)속으로 마하 1의 속도로 작동되는, 정상적인 기술적 조건하에서 가능한 것이다. 그러나 Investa 직기의 경우에 위사가 컨퓨저속으로 안전하게 들어가서 그것을 통해 진행해야 하기 때문에 노즐에서 배출되는 속도는 마하 0.75이다. 따라서 노즐컨퓨저시스템에 있어서 실질적인 위입길이는 대략 2m정도로 줄어든다.



<그림 16> 여러 조건에 따른 축방향의 공기속도 분포(Investa직기)



<그림 17> 보조공기분사장치가 있는 가이드를 통해
진행하는 실의 속도 분포(도요다 직기)

위입길이를 증가시키기 위해서는 에어가이드의 길이 방향을 따라서 배열되어 있는 보조분사장치를 이용하여 에어 가이드를 통해 공기의 추진력을 증가시키는 것이다. 이 보조분사장치가 멀티 노즐 시스템이다. 이 보조분사장치는 노즐의 역할을 인계받아 전 위입길이에 이를 수 있도록 노즐이 더 이상 공기를 배출하지 않고도 공기유동을 유지할 수 있도록 한다. 보조 분사장치로 공기의 공급을 알맞게 조절함으로써 위입길이를 임의로 늘릴 수 있다. 그림16에 주노즐과 컨퓨저에 있는 보조노즐에 의한 폭방향으로의 공기속도 분포가 나타나있다.

많은 에어제트직기 제조회사들이 에어 가이드 시스템과 함께 멀티 노즐 시스템을 채용하고 있다. 이 시스템으로 에어제트직기가 넓은 범위에 걸쳐 이용될 수 있기 때문이다. 제직 및 에너지 절감이라는 점에서 가능하면 작게 유지해야 한다. 이것은 주노즐로 부터 생긴 높은 압력에 의해 사절이 생기는

것과 전력소모가 커지는 것을 방지하기 때문이다. 이러한 목적을 위해서 멀티 노즐 시스템은 매우 효과적이다. 주노즐로부터 방출된 위사 보조 시스템에 의한 공기 유동에 따라 가이드를 통해 진행된다. 그림17은 도요다 에어제트직기의 가이드를 통한 위사의 속도분포를 나타낸 것이다. 그림으로부터 위입 후반 단계에서 위사의 속도가 65m/sec까지 달한다는 것을 알 수가 있다.