

〈染色加工技術〉

## 연속식 저온 plasma 처리기술의 현황

박용우 · 조 환

영남대학교 섬유학부  
(1998년 3월 31일 접수)

### The Situation of Continuous Low-temperature Plasma Treatment Technology

Yong Woo Park and Hwan Cho

School of Textile Engineering, Yeungnam University, Kyeongsan 712-749, Korea

(Received March 31, 1998)

#### 1. 머리말

최근, 과학기술의 눈부신 발전은 인류의 다양한 욕구에 부응해, 섬유산업에 있어서도 쾌적성추구와 건강성추구 및 안락성추구등, 수요자의 욕구충족과 함께, 생산기술측면에서의 미래 지향적인 환경친화형 기술의 생산기술에의 응용에 대체해 나갈 수 있는, 첨단기술개발에로의 전환이 당면과제로 부상되고 있다.

현재의 직물처리가공은 물·증기·약품 등의 자원들과 energy를 대량으로 소비하는 전형적인 energy 다소비형(多消費型)이면서 용수과소비형산업(用水過消費型産業)이고, 사용후의 폐수도 환경문제를 일으키지 않게 하기 위하여 대량의 자원을 필요로 하는 것이 현실이다<sup>1)</sup>.

자연, 환경에의 도전을 극복할 수 있는 중요한 가공기술의 한 분야로써 plasma 기술관계자들 사이에서 공감대를 형성하고 있는 가운데, plasma 기술시대가 서서히 도래하고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다<sup>1)</sup>.

전기방전에 의한 직물처리의 역사는 1956년 France

직물연구소<sup>2)</sup>가 corona방전처리에 의한 양모섬유에의 응용이 특허로 인정 받은지 40년이 지났고, 1970~80년대에 걸쳐 USA와 Australia에서 꾸준히 연구되어왔고, 지난 15년간 Europe, Japan, China 등에서도 연구되고 있다<sup>3)</sup>. 한편, 우리 연구실에서는 직물가공을 위한 저온 plasma 장치를 자체 제작해서 섬유산업에 직접 응용코져하는 연구를 진행해 왔는데, 대표적인 연구는 O<sub>2</sub> plasma 처리에 의한 PET 직물의 심색화<sup>4)</sup>, plasma 중합에 의한 PET직물의 심색화<sup>5)</sup>, O<sub>2</sub> plasma에 의한 PET 극세사직물의 날염성 개선<sup>6)</sup>, plasma 처리에 의한 PET 직물의 감량가공, 친수화, 대전방지 가공등 섬유산업에 실질적으로 응용할 수 있는 연구가 다채롭게 꾸준히 진행됐다.

직물의 plasma 처리는 특정의 gas 분자를 plasma 중에 활성화하여, 직물표면에 특정의 작용기를 도입함에 의해 표면특성을 변화시킬 수 있는 것이다. 대표적인 예로 O<sub>2</sub> plasma에 의한 표면 친수화개질, F<sub>2</sub> plasma에 의한 표면 발수화 개질을 들 수 있다<sup>7)</sup>.

최근, 새로 개발된 연속식 저온 plasma 처리장치는, 기체상태처리기술을 활용함으로써, 물·증기 등

의 자원을 필요로 하지 않고, 전기·공기 또는 O<sub>2</sub> gas 등의 기체로 생지(生地)를 처리하여 풀빼기를 할 수 있게끔 실용화되었다<sup>1)</sup>.

특히, Santodetsuko Co. LTD.가 개발한 장치는, 면직물준비가공 중에 다량으로 불순물을 포함하는 풀빼기, 정련 공정에 초점을 맞추어 제작한 것으로, 물·증기·약품을 사용하지 않고, 진공으로 연속가공에 의한 풀빼기, 정련이 가능한 실용화장치인 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>.

이 글에서는 직접 산업에의 응용을 목적으로한 직물전처리용 연속식 plasma 처리장치에 대해 면직물의 풀빼기·정련공정에 응용되는 plasma 처리와 양모직물 가공에 응용되는 plasma 장치를 중심으로 개괄적으로 소개하고자한다.

## 2. Plasma 란?

물질의 상태에는 기체, 액체, 고체의 세가지 상태가 있다는 것은 잘 알려져있는 상식인데, 물질의 또 다른 상태 즉, 물질이 기상상태에서 그 일부가 해리한 독특한 혼합상태를 plasma라 부른다. 이 plasma란 용어는 1928년 Langmuir가 방전관내의 전기기체에 붙인 이름으로, 이 특수한 물질상태는 제4의 물질 상태라 부르기도 한다. 간단히 말해서, 기체 분자 또는 원자가 어떤 energy를 받아 해리(보통은 전리)한 상태를 말하고, ion, electron, radical, 진공자와 선등의 활성종(活性種)이 혼재되어 있고, 전기적으로 중성인 상태를 plasma라 칭한다<sup>2)</sup>.

일반적으로, 전리에 의해 만들어진 electron과 ion은 단시간에 재결합하여 중성원자나 분자로 되돌아가 버리고, 이때 electron과 ion이 가지고 있는 energy의 일부는 전자파, 재결합 입자의 운동 energy 또는 분자의 해리energy로 소비되고, 분자가 해리될 때 대부분 radical이 발생하게된다. 이러한 현상들이 거의 동시다발적으로 일어나고, 계 내는 전체적으로 중성인 상태로 되어버린다.

압력이 100torr 이상에서는 전자의 평균자유행정이 짧고, 전자가 충분히 가속되지 않아, 전자의 kinetic energy는 heat energy로써 기체분자에 흡수되어 기체온도와 전자온도가 거의 열적으로 평형에 도달하는데, 이것을 equilibrium plasma(thermal plasma)

라 일컫는다. 반대로, 압력이 100torr 이하가 되면, 전자의 평균자유행정이 길고, 전자의 kinetic energy는 증가한다. 따라서 전자온도와 기체온도가 서로 같지 않는데, 이를 nonequilibrium plasma(low temperature plasma)라 한다<sup>3)</sup>.

plasma 상태를 안정화하는데는, 기체분자와의 충돌회수를 억제하여 장시간 전자가 존재할 수 있는 장(場)(전자의 평균자유행정을 길게함)의 마련이 필요한데, 이를 위해서 기체분자 수를 적게할 것, 즉 감압함으로써 plasma 상태를 안정화시킨다.

### 2.1 Corona discharge

corona discharge는, 높은 전압(15kV 이상)과 높은 주파수(20~40kHz)범위에서 전기장을 형성시키는 것으로, gas압이 대기압과 같든지, 비슷한 상태로 방전하는 것을 말하고, 오늘날 가장 실질적으로 많이 이용되고 있는 plasma 기술이다.

### 2.2 Glow discharge

Glow discharge는 0.1~10MPa의 gas압에서 방전시키는 것으로, 저전압(즉, 0.4~8.0kV) 범위, 아주 넓은 주파수 범위(0~2.45GHz)에서 방전시키는 plasma기술을 말한다.

엄밀히 말하자면, 방전은 corona discharge와 glow discharge로 구분되어야 하나, 일반적으로 plasma라고 하면 '저온 plasma'라 알려져 있는 glow discharge만을 말하는 경우가 많다. 저온 plasma 반응은, 활성화한 입자의 반응성을 이용하여, 고체표면의 개질등을 하는 것인데, 비교적 저온이기 때문에 섬유가공에 유효하다고 하겠다. 섬유가공에의 응용은, 막 시작한 초기단계인데, 다음과 같은 장점이 있다.

- ① dry process(氣狀 處理)이며, 환경오염·공해가 적다. 또, 물을 사용하지 않기 때문에, energy를 대폭 절감할 수 있다.(cooling water를 사용하느냐, 재활용가능)
- ② 섬유표면의 극표면층의 반응이므로, 강도등 bulk특성을 변화시키지 않고 표면처리를 할 수 있다.
- ③ 친수성 향상, 염색견뢰도 향상, 우아한 광택증가, 모섬유의 방축·방오 가공, 저굴절을 피막

생성에 의한 심색효과증대, 직물과 비직물과의 결합성 향상, 표면조면화, 완벽한 살균효과, 접착성, 마찰특성, 전기특성, 대전방지가공 등

- ④ 반응 energy가 크기때문에, 종래에 불가능했던, 새로운 반응에 의한 혁신적인 표면개질가공을 할 수 있는 것으로 보고되고 있다<sup>4~6)</sup>.

이와 같은 장점을 살려, 풀베기와 정련 뿐만 아니라, 널리 섬유가공전반에 걸쳐서 사용 가능한 장치로 활용될 것으로 기대된다.

### 3. 양모직물의 연속식 저온 plasma 처리

#### 3.1 Top vs Fabric Treatment

직물의 plasma 처리에 관련된 연구 program은 1973년 Polish 직물연구소에서 시작되었는데<sup>3)</sup>, 그 첫째 목표가 texturised polyester yarn으로 만든 double jersey 직물의 soil release 성질개선이었다. 1980년에는 양모섬유를 날염하기 위한 직물 전처리단계인 염소처리법을 대신하는 것을 목적으로 plasma 처리기술이 이용되었고, 1981년에는 발전적인 결과가 나왔는데, plasma 처리에 의한 가공방법이 산업공정으로의 발전을 꾀할 수 있는 방안이 마련되기에 이르렀다<sup>3)</sup>. 즉, top treatment route를 개발해서, 그 결과로 wool top의 연속식 plasma treatment를 위한 세 개의 기계가 만들어졌다.

- 1983 : 용량~2kg/h
  - 1986 : 용량~20kg/h의 생산공장용 장치 개발
  - 1992 : 용량~40kg/h의 생산공장용 장치 개발
- plasma 처리를 위해 wool top재료를 선택한 이유는 다음과 같다.

- ㉠ 거의 모든 모직물 제품은 top에서 생산 가능하다.
- ㉡ 점차 scaling-up공정은 가능해졌고, one top과 짧은 처리 chamber에서 보다 많은 top과 긴 처리 chamber로 바뀌어져야한다.
- ㉢ 산업적인 측면에서 모든 공정에서 가능하다.
- ㉣ top 처리는 양모섬유의 방사작업발전에 유효하다.

직물처리를 위한 discontinuous(batch) plasma 장치를 Fig. 1에 나타내었는데, 이것은 지난 15년

간 Russia의 Niekmi에서 연구, 기획한 것에 기초를 둔 것으로, Swiss의 Technoplasma SA consortium에서 발명된 것이다<sup>9)</sup>.

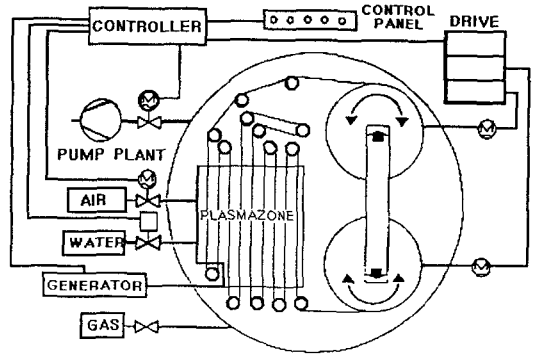


Fig. 1 Batch plasma machine KPR-180 for fabric treatment.

즉, 이 장치는 모직물을 날염하기 위한 전처리공정에 응용되는 batch식 plasma 처리장치인데, 종전에 사용되었던 염소화 전처리보다 처리시간이 아주 짧고, 비용도 1/3밖에 들지 않는 등 여러 가지 장점이 있다.

한편, Japan의 Unitica Co. LTD에서는 washable wool fabric의 생산판매를 1990년대 초부터 시판하고 있는데, 그 가공기술은 저온 plasma 처리기술을 응용한 것으로 알려져 있다.

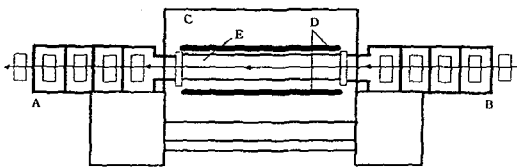
#### 3.2 연속처리공정에 요구되는 기본요건

위에 설명한 장점을 가진 연속식 plasma 처리장치가 개발되기 위해서는 먼저, air-vacuum-air route가 기술적으로 마련되어야 하고, 경제적으로도 타당성이 있어야 한다.

Wool top으로한 연속식 plasma 처리장치의 최초 실험에서, 성공적인 plasma 처리를 위한 압력범위는 100~500Pa을 유지해야만 했다. 따라서 wool top의 plasma 처리를 위해 산업적으로 실행 가능한 장치는 top을 연속적으로 진공 chamber 안과 밖으로 이송 가능해야 하고, 이러한 chamber 내에 glow discharge가 일어나는 것이다. 닫혀있는 chamber 내에서의 진공, plasma 발생은 기술적으로 큰 애로사항은 없으나, wool top을 연속적으로 진공 chamber 안·밖

으로 이송할 수 있는 타당성 있는 system 개발이 관건이다.

Fig. 2는, Lodz의 Textile Institute에서 최근 개발한 wool top의 연속식 plasma 처리장치이다. 네 단계 진공 system의 pump 용량은 5400m<sup>3</sup>/h로 서로 같고, 얻을 수 있는 압력은 적어도 50Pa이다. Glow discharge는 RF generator의 효과적인 연결 결과, plasma generation 회로로 13.56MHz에서, 진공 chamber(45.8ℓ) 내에서 발생시켜, 0.12W/cm<sup>2</sup> 밀도의 평균 RF energy를 공급한다. Top 이송과 수집 system은 동시에 네 개의 21g/m wool top을 조절하고, plasma 처리 chamber를 경유해서 collecting can 끝까지 이송한다. 기계 용량은 ~40kg/h 정도이다<sup>3)</sup>.



- A Top out
- B Top in
- C RF shielding
- D RF electrodes
- E Plasma

Fig. 2 Prototype machine for continuous plasma treatment of wool top.

### 3.3 Plasma 처리양모의 물성

모직물의 plasma 처리는 건조상태에서 일어나서, 섬유는 팽윤하지 않는다. 그러므로, plasma 처리에 의한 모직물의 성질변화는 표면에 국한해서 일어나고, 섬유내부에는 어떠한 손상도 없다. 오늘날 모섬유에 응용 가능한 표면특이성 개질 기술에 있어 가장 중요한 장점중의 하나를 들어본다.

물리적 측면에서 보면, AFM(Atomic Force Microscopy)에 의해 직물 표면의 roughness 정도를 알 수 있는데, felting 저항은 물론이고 마찰계수의 변화, top 점착, 방사성, 실 강도 등을 알 수 있다. 화학적 측면에서 보면, 직물표면의 산화, 공유결합의

환원에 의한 높은 소수성 methylicosanoic acid와 sulphur 종(種)이 양모섬유의 plasma 처리에 있어 염색과 방축성의 주요 인자로 평가된다<sup>3)</sup>.

Plasma 처리에 의한 양모섬유의 또 다른 성질변화를 간단하게 살펴보면,

- ㉓ plasma 처리는 Roder method<sup>10)</sup>에 의해 fibre /fibre 간의 마찰은 증가 하나, Mercer<sup>11)</sup>와 Lindbergh<sup>12)</sup>에 의해 정의된 이방성(異方性) 마찰 효과(DFE)는 감소한다.
- ㉔ plasma 처리는 강도변화와 신장변화는 일어나지 않고, loop형태의 breaking force는 조금씩 감소한다.
- ㉕ plasma 처리에 의해 top 점착력이 증가(1.5~2.0 factor)한다.
- ㉖ specific electrical resistivity(비 전자 저항치)는 plasma 처리후 비교적 변화하지 않는다.
- ㉗ 모직물에 있어 지방질 문제는 plasma 처리로 인해 1/3 정도 감소된다.
- ㉘ wool top의 수용적(水容積)은 plasma 처리에 의해 3% 감소한다.

Plasma 처리에 의한 방축성개선은 양모섬유의 개질가공에 있어 가장 흥미있는 관점중의 하나이다. Polish 직물연구회는 다음과 같은 결론을 내놓았다. 즉, wool top plasma 처리에 의해 최종 생산품의 구조에 이르기까지의 모든 경우에 있어서 방축성은 개선되었다는 결론이다. 모든 최종 생산품(제직, 편직, 수편직 실)에 대한 세탁성 시험은 직물구조상, 이 분야에 있어 표준규격으로부터 조금도 벗어나지는 않는다<sup>3)</sup>.

Table 1<sup>3)</sup>은 plasma 처리를 하여 만든 속옷 편직물 생산품의 수축특성을 나타내었는데, 그 sample은 손빨래가 가능하다. Plasma 처리한 양모섬유는 아주 쉽게 IWS 요구(AFS after 1×5A < 8%)를 만족시켰으며 이것은 손빨래가 가능한 속옷제품의 no chemistry'라는 시장상표부착을 가능하게 했다.

양모섬유에 이용되는 연속식 plasma 처리기술은 초기단계이나, 가까운 미래에 plasma generation의 발전으로, 다른 방법으로는 이를 수 없는 shrink proofing의 한계를 넘어선 성과를 얻을 수 있을 것이고, 양모섬유의 모든 가공공정의 단계에서(방사

Table 1. 속옷용 양모사편물의 이원수축률과 felting 수축률<sup>3)</sup>

Fabric	Relaxation 1×7A (%)		Felting 1×5A (%)		AFS (%) (%)	Total shrinkage (%)		
	C	V	C	C		C	V	A
1(120g/m <sup>2</sup> )								
Standard	0.6	3.7	4.2	7.2	11.4	4.8	10.9	15.7
Plasma	0.1	1.3	-1.0	1.5	0.5	-0.9	2.8	1.9
2(220g/m <sup>2</sup> )								
Standard	0.1	3.9	6.7	8.6	15.3	6.8	12.5	19.3
Plasma	0.5	-0.4	-2.4	1.0	-1.4	-1.9	0.6	-1.3

C : Courses                                  V : Wales  
AFS : Area felting shrinkage                  A : Total area shrinkage

를 포함한 염색, 날염) shrinkproofing과 같은 wet process의 모든면에서의 가공효과를 대신할 수 있게 되리라 기대된다.

한 풀베기·정련이 가능하도록 고안된 실용화된 장치이다. 장치개념도를 Fig. 3에 나타내었다.

4. 풀베기·정련공정에서의 연속식 plasma 처리

다음은 Japan의 Santodetsuko Co. LTD가 최근 개발한 연속식 plasma 장치에 대해 소개하고자 한다<sup>1)</sup>. 이 장치는 면직물준비가공중의 풀베기·정련공정에 응용된 연속식 plasma 장치로써 연속가공에 의

4.1 장치개요(Fig. 4)

- ① 기계가동폭 : 180mm
- ② 처리속도 : 70m/min
- ③ 도달진공도 : 0.5Torr(상용 : 1~10Torr)
- ④ 사용 gas : 공기, O<sub>2</sub>
- ⑤ 발전전력 : 50kW(5~35kW)
- ⑥ shield 단수 : 4단(각 단계 진공 pump 자동운전)

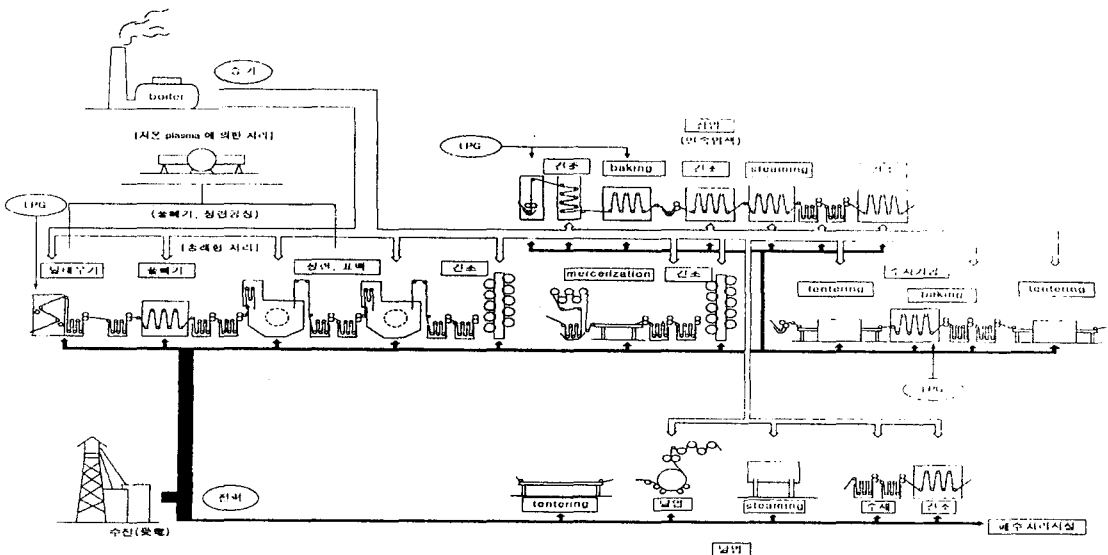


Fig. 3 The concept of dyeing process for cotton fabric.

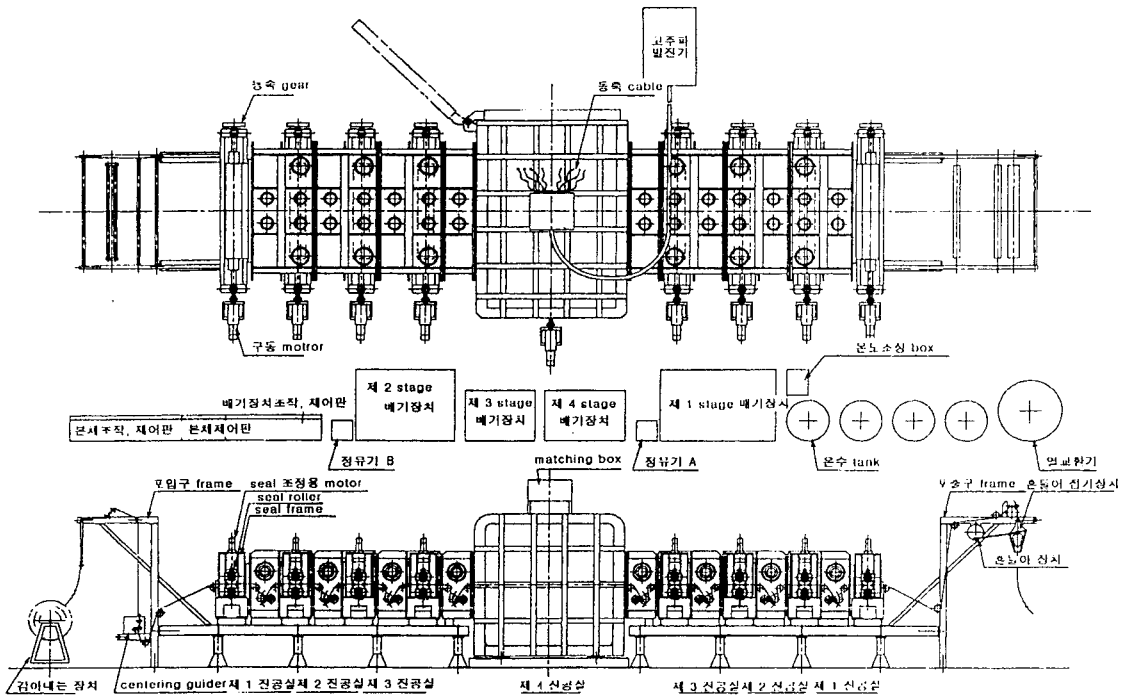


Fig. 4 Continuous low temperature plasma treatment system.

4.2 장치각부

- ① 포백입구 장치 : cloth guider 부착
- ② 포백표면 cleaning 장치 : brushing
- ③ 입구 shield 기구 : 직경 350mm rubber roller 및 shield 기구
- ④ 제 1·2·3과 본체접속실 : (입구·출구 모두) 폭 2,400×높이 1,070×길이 600(mm) peephole(창), 진공 pump 접속구, 작업용 manhole, 진공계용 gauge pot, leak valve pot 부착, dancer roller, guide roller, Wilson seal 부착 구동축용 flunge, 전극용 pot를 부착
- ⑤ 본체 : 구경 2,400×폭 3,650(mm) 개폐문에 부착된 들여다보는 창, 진공 pump 접속구, Wilson seal 부착 구동축용 flunge, 고주파전극용 gauge pot, 진공계용 gauge pot, dancer용 optical fiber sensor pot, gas 공급구, 다른 두개 pot를 부착한다.  
본체 내부 아래 부분에는 carrier용 rail을 부착. guide roller frame은 carrier 방식으로, 위에 7개, 아래에 6개의 구동 roller로 12m의 포

백길이를가짐. 또, 이 사이에 plasma 발생용의 6개조의 전극관을 절연유지시키고 있음.

- ⑥ 각 pump는 원동축에 배치하고, 각 진공실에 접속되어 있다. 또한, 사용 oil의 drain 분리를 위해 정유기(淨油機)를 사용하여 oil-cleaning을 하고 있음. 면직물 및 공기에 함유된 수분이 oil에 혼입하여, 진공도달에 방해되는 것을 방지함.

4.3 가공

시운전을 시작으로, 실험은 모두 면섬유 100% 포백을 사용해 시행되었다'. 배기계는 자동운전 하여, plasma 실을 0.5Torr까지로해, 고주파전력을 0~15, 20kW로 올렸다. 전극간에 plasma가 발생하는 auto matching방식이므로, 반사파는 거의 0에 가까운 상태로 control된다.

5. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이, 현재 섬유제품에 응

용되고 있는 plasma 처리장치는 대부분이 discontinuous(batch)식 장치이나, 그 효율성으로 미루어 보아 종래의 wet process 보다 많은 잇점이 있다고 할 수 있다.

한편, 섬유공정 전체공정에서의 연속식 plasma 처리는, 현재에도 선진 각국에서 연구개발중에 있으며, 부분적으로는 면직물의 풀베기·정련공정에서 성공리에 응용되고 있어, 섬유가공공업의 청정화기술발전에 크게 기여하고 있다.

이제, plasma 기술이 전자공업분야를 필두로, 우리생활의 이곳저곳에서 현실적으로 응용되고 있으며, 이러한 차세대형, 환경친화적인 차별화가공기술은, IMF 시대에 당면해 있는 우리나라의 섬유업계에서도 하루빨리 도입되어야 할 기술이라고 확신한다.

### 참고문헌

1. 石徹白 博司, *加工技術*, 32(12), 784(1997).
2. French P I, 197, 146(1959).
3. Witold Rokowski, *JSDC*, 113(9), (1997).
4. 조 환 외 5인, *한국염색가공학회지* 4,(1), pp. 1~9(1992).
5. 조 환 외 5인, *한국염색가공학회지* 5,(3), pp. 22~33(1993).
6. 조규민, 이종훈, *한국염색가공학회지* 7,(1), pp. 1~9(1995).
7. N. Inagaki, *日本ゴム協會誌*, 62, 707(1989).
8. Brian Chapman, *Glow Discharge Process*, John Wiley & Sons(1980).
9. Witold Rakowski, *ITB, Dyeing/Printing/Finishing* 1/95~96(1995).
10. HL Roder, *J. Text. Inst.*, 44(6), 247(1953).
11. EHMercer and K R Makinson, *J. Text. Inst.*, 37, 269(1946).
12. J Lindbergh, *Text. Res. J.*, 18, 480(1948).