

극세선의 직선화 처리에 관한 연구

김용겸* · 김병희* · 김현영* · 김남수** · 신흥규*** · 홍남표***

Straightening of the micro wires

W. K. Kim, B.H. Kim, H. Y. Kim, N. S. Kim, H. K. Shin and N.P. Hong

Abstract

Micro wires manufactured by the straightening progress are widely used in bio-medical and semi-conductor fields. In this study, we have developed a novel straightener which uses *the direct heating method* for straightening. In order to avoid the surface oxidization, during the heating process, we supplied the inert gas(Ar) and examined the effect of the gas flow rate. The effect of the tension and the current applied to the tungsten micro wires were thoroughly studied. From various experiments, it was found that when the tension is 500 ~ 600gf and the current is about 1.5A, we obtained higher straightness ($\approx 1\mu\text{m}/1000\mu\text{m}$) and roundness ($< \pm 2\mu\text{m}/100\mu\text{m}$).

Key Words : Micro Wire (극세선), Straightener (직선화 처리기), Direct Heating Method(직접 가열 방식), Surface Oxidization (표면 산화)

1. 서 론

직선화 처리 공정을 통해 제작된 극세선은 반도체, 의료, 전자 분야에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 특히, TFT-LCD 용 탐침용 편 또한 LCD 의 시장확대를 고려할 때 확실한 부가가치를 갖는 제품으로서 고려된다. 바이오 분야의 세침의 경우도 중화권 시장의 1 회용 세침 시장과 동양 의학의 서구화를 고려하면 그 수요는 폭발적으로 증가하리라 예상된다.⁽¹⁾ 이와 같이 증가 추세에 있는 극세선 시장을 선점하기 위해 극세선의 직선화 처리기술이 선행되어야 한다. 극세선의 직선화 처리기술은 국내에선 확보되지 못한 첨단 기술로 일본이 가장 앞서나가고 있다.⁽²⁾

극세선의 직선화 정도가 제품의 품질을 좌우하며 업계에서는 길이 50,000 μm 당 40 μm 이하의 직진도를 요구하고 있다. 극세선의 직선처리기술은 고부가가치 산업으로 수입대체 및 수출증대 효과를 위해 선행되어야 할 기술개발 사업이다.⁽³⁾

직선화 처리 공정 중, 직선화에 영향을 주는 인자로는 극세선 고유의 방향성, 극세선에 대한 온도와 장력이 있으며, 직선화 처리 후 절단 과정에서의 버 제거, 기타 직선화 처리기 자체에 따른 내부 환경적 요소 등이 있다.

본 연구에서 사용되고 있는 직선화 처리 방법은 장력(tension)과 직선의 직접적인 전기 가열을 이용한 방법이다. 직접 가열 방식의 직선화 처리기를 이용하여, 직경 200 μm 인 텅스텐(tungsten)로드의 직선화를 위한 주요 요소들을 파악하고 이를 해석에 적용하였다.

직선화 처리에 있어 주요 공정 변수인 장력과 직선의 이송 속도, 그리고 온도에 따른 극세선 내부 조직의 변화를 확인함으로써, 최적의 조건에 따른 극세선의 직선화를 수행하였다.

2. 극세선의 직선화 처리

2.1 직선화 처리 시스템

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부

** ㈜오엔텍

*** 강원대학교 산업기술연구소

본 연구는 직선화 처리 메커니즘에 있어서, 최고 진직도 및 진원도를 갖는 극세선을 유지하기 위해서 시작되었다. 와이어가 처음 생산될 때 생기는 잔류응력은 불균일한 소성 변형에 기인한다. 이는 한쪽 표면부는 늘어나려고 하는 반면, 다른 쪽은 영향을 받지 않으면서 전체적으로 연속을 유지하려고 한다[4]. 이러한 까닭에 와이어의 굽힘이 발생한다. 이 잔류응력은 통전식 열처리를 통해 제거하며 소성변형 범위내의 장력을 주어 최적의 진직도를 얻을 수 있었다.

본 시스템은 기초적인 직선화를 동작시킬 수 있는 구동부와 제어부로 구성된다. 사용된 직선화 처리 장치의 모습은 Fig. 1 과 같다. 와이어가 처음으로 들어오는 부분에 장력 조절 장치와 장력 측정기를 설치 하였으며, 챔버(chamber)를 통과할 때 전류를 공급하여 와이어 자체를 직접 가열하는 방식을 채택하였다. 가열시 발생하는 표면산화를 방지하기 위하여 챔버 내에 불활성 가스인 아르곤(Ar)을 주입하였다. 극세선의 이송은 직선 처리기 내부의 스텝 모터(step motor)에 의해서 이루어지게 되며, 속도는 내부 제어부에 의해 제어된다.

본 연구에 사용된 직선화 처리기는 장력과 온도 조절, 그리고 극세선을 이송 시키는 속도에 따른 직선화를 가능케 한 장치이다.

2.2 직선화 처리기 구동부

직선화 처리기의 구동부는 Fig. 2 와 같으며, 구동부에는 와이어를 고정하여 이송하는 이송 클램프, 이송레일, 스텝모터 그리고 메인 컨트롤러(LNC-2)가 있다. LNC-2 는 EEPROM 을 탑재하고 있으며, 위치결정과 원점복귀가 가능하다.

Fig. 1 Straightener using direct heating method.

직선화 처리기에서 와이어 이송은 Fig. 2(a)와 같이, 와이어 클램프에 의해 고정된다. 또한 고정된 와이어는 Fig. 2 (b)의 스텝 모터에 의해 X 축 방향으로 이송된다. 즉 와이어 길이 방향으로 구동을 하며, 이송거리는 800mm 이다. 이송 구간 끝단에는 Fig. 2 (c)와 같이 근접 센서가 달려 있어 이송 구간 끝단에 클램프가 접촉하면 자동적으로 클램프는 정지하게 된다. 스텝 모터의 이송속도는 LNC-2 의 입력부인 Fig. 2 (d) NC-loader 에 의해 입력이 되며, 입력 값에 따라 스텝모터의 이송 속도가 결정된다.

2.3 직선화 처리기 제어부

직선화 처리 공정에 있어 주요 요인은 장력과 온도가 있다. 제어부에서는 와이어의 장력과 온도를 조절함으로써 최적의 진직도를 갖는 와이어를 얻을 수 있다. 장력은 이론적인 최대 인장강도 이내에서 조절하며, 특히 전기적 가열로 인한 고온 인장의 영향을 받으므로 와이어의 파단강도가 약해진다. 그러므로 낮은 장력에서부터 점차적으로 높여 가며 최적의 값을 찾아내야 한다. 본 연구에서 장력조절과 측정은 Fig. 3 과 같이 구성하였다.

Fig. 3 (a)에서 와이어가 지나가는 양쪽 면에는 양모(羊毛)가 부착되어 있어서 와이어 손상을 최소화 하였다. 장력조절은 직접 손으로 손잡이를 회전시켜 스프링 압축에 의한 양쪽 면의 압력으로 인해 장력이 발생한다.

또한, 일정 장력을 유지 하기 위하여 Fig. 3 과 같이 장력 측정기를 설치하였다. 장력 센서는 장력조절장치와 와이어 가이드 롤 사이에 설치되어 정량적인 장력 측정이 가능하게 하였다.

온도의 영향이 극세선의 직선화 처리에 주요 요소이다. 본 연구에서는 직접 가열 방식을 채택하였으며, 와이어 자체에 전류를 인가 함으로써 와이어를 가열하였다. Fig. 4 와 같이 축의 양쪽에 전류를 통과시켜 와이어에 전달될 수 있게 하였으며, 전류가 기계 전체에 흐르지 않게 하기 위해서 각각의 축에만 독립적인 통전을 하였다.

또한, 전류 인가 시 온도의 영향으로 인해 와이어의 표면 산화 현상이 두드러지게 나타났으며, 이를 방지하기 위해 두 축 사이에는 유리관을 설치하여 외부 공기와 차단하였으며, 표면 산화 현상을 방지하기 위하여 불활성 가스인 아르곤 가스를 사용하였다. 또한 가스 압력을 조절하기 위해 압력 레귤레이터를 이용하여 아르곤 가스의 주입량을 조절하였다.

와이어의 온도 조절을 위하여 Fig. 5 와 같이 디지털 파워 서플라이를 사용하였다. 이 장치를 이용하면 정량화된 전류값을 조절할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 텅스텐 와이어의 온도 분포

텅스텐 와이어에 전류를 가함으로써 국부적으로 온도 상승이 일어난다. 이를 측정하기 위해 적외선 카메라(TH5104)를 이용하였으며, Fig. 6은 적외선

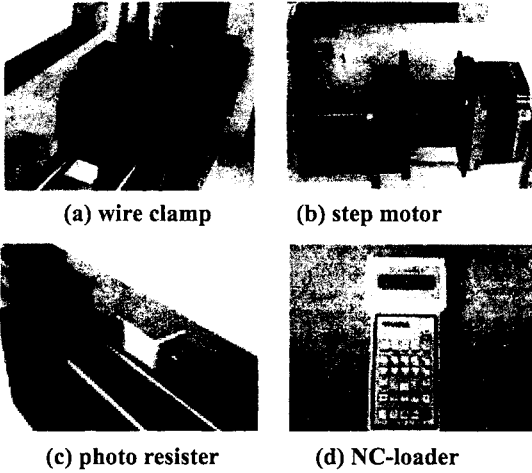


Fig. 2 Driving components of straightener

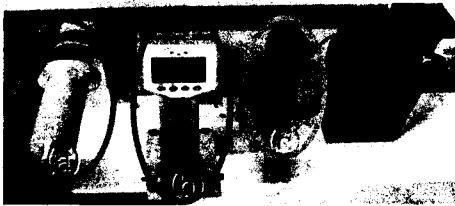


Fig. 3 Components for tension : (a) handler (b) tension meter (c) wire guide



Fig. 4 Part of wire heating



Fig. 5 Digital power supply

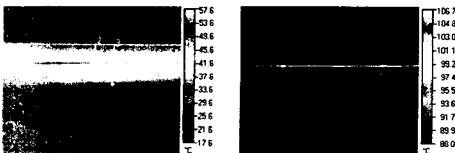


Fig. 6 The distribution in wire and glass tube

카메라로 측정된 텅스텐 와이어의 온도 분포이다. Fig. 6 (a)에서 알 수 있듯이 온도 분포의 상하 좌우 불 균일 현상 발견되었으며, Fig. 6 (b)에서는 유리 투과에 의한 투과율의 손실 때문에 유리관 내의 직선의 절대 온도를 정확히 알 수 없었다.

전류인가 시 텅스텐 와이어의 온도를 측정하기 위해 온도에 따른 텅스텐의 비저항 표를 이용하여 와이어의 온도를 간접적으로 예측 할 수 있다.

Table 1은 텅스텐의 온도에 따른 비저항 표이며, 다음 식을 이용하여 간접적인 온도를 계산하였다.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

식 (1)에서 L 은 전류가 흐르는 방향의 길이이며, S 는 단면적이다. 식 (1)을 이용하여 비저항 ρ 값을 구할 수 있었다. 최적 직선화 구간인 전류 1.5A, 장력 600gf 에서 실제 텅스텐 와이어의 절대 온도를 계산한 결과 와이어 온도가 약 1000K 가 됨을 알 수 있었다.

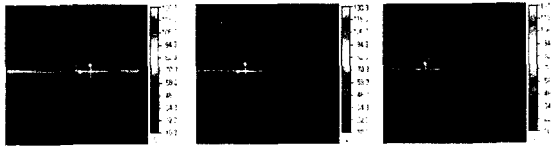
3.2 아르곤 가스 사용량에 따른 표면 산화 산화가 일어나면 표면 거칠기가 매우 불량해 지므로 산화 방지용 가스를 투입해 주어야 한다. 산화 방지용 가스로는 아르곤(Ar) 가스를 이용하였으며, Fig. 7 은 장력 600gf, 전류 1.5A 일때, 가스량에 따른 텅스텐 로드의 온도 분포를 적외선 카메라를 이용하여 측정한 결과이다. Fig. 7 (a)를 보면 가스량이 없을 때는 와이어 전체가 높은 온도 분포를 보이며, 가스량이 0.5 kg/cm² 1.0 kg/cm² 으로 증가함에 따라 텅스텐 로드의 온도 분포가 적어짐을 알 수 있었다. 표면 산화 역시 가스량이 많아짐에 따라 산화 현상이 적어지는 것을 알 수 있었다. 특히 가스량이 0.5 kg/cm² 일 때 로드의 직선화 정도가 제일 좋았으며, 1.0 kg/cm² 일 때는 표면 산화가 제일 적었다.

Fig. 8 은 Ar 가스 사용 유/무에 따른 텅스텐 와이어의 표면 상태를 광학 현미경으로 촬영한 것이다. Ar 을 사용할 경우 Ar 가스를 사용하지 않은 와이어보다 표면 산화가 적음을 확인할 수 있다.

3.3 온도에 따른 직선화 평가

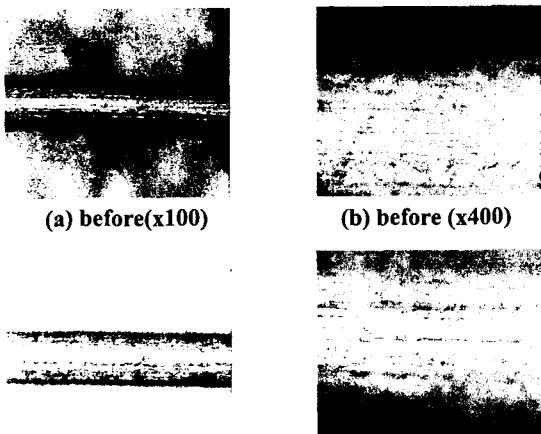
Table 1 The specific resistance of tungsten.

온도 T(°K)	비저항 $\rho(\mu\Omega\cdot\text{cm})$	온도 T(°K)	비저항 $\rho(\mu\Omega\cdot\text{cm})$
300	5.65	1600	43.55
400	8.06	1700	46.78
500	10.56	1800	50.05
600	13.23	1900	53.35
700	16.09	2000	56.67
800	19	2100	60.06
900	21.94	2200	63.48
1000	24.93	2300	66.91
1100	27.94	2400	70.39
1200	30.98	2500	73.91
1300	34.08	2600	77.49
1400	37.19	2700	81.04
1500	40.36	2800	84.7



(a) 0 kg/cm² (b) 0.5 kg/cm² (c) 1.0 kg/cm²

Fig. 7 The temperature distribution according to Ar Gas flow rate



(c) after (x100) (d) after (x400)

Fig. 8 The surface oxidation in wire



Fig. 9 Measurement of straightness

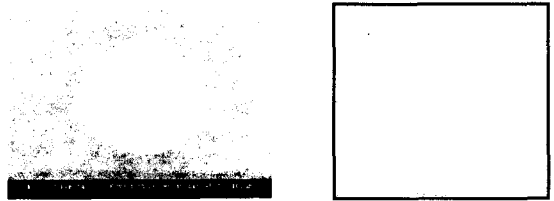


Fig. 10 Measurement of roundness

와이어의 온도는 전류를 가함으로써 온도를 조절하였다. 본 연구는 온도에 따른 직선화 정도를 알아보는 것으로서 온도, 즉 전류에 따른 직선화 정도를 알아보았다.

Fig. 9 는 직선도 측정 방법이며, 와이어를 길이 방향으로 100 mm로 절단 후, 이미지 프로세싱에 의해 길이에 대한 수직 높이의 비(h/w)로써 측정하였으며 직경은 무시하였다. 또한, 진원도 평가 방법으로는 Fig. 10 과 같이 Max. Inner Circle 범을 사용하였다.

Table 2 는 이미지 프로세싱에 의한 직선도 측정 결과를 장력과 전류에 대한 직선도를 나타내고 있다. Table 2 에서 보는 것과 같이 장력 500gf ~ 600gf 그리고 전류 1.5A 에서 최적의 직선도를 갖는 와이어를 얻을 수 있었다.

Fig. 11 은 Table 1 을 바탕으로, 전류에 대한 직선도를 그래프로 나타내었으며, 최적 직선도 구간은 1.5A 이다. 1.5A 보다 더 많은 전류를 가할 경우 와이어의 파단이 일어났다. 또한, Fig. 12 는 장력에

Table 2 The straightness result of tension vs. ampere

전류 (A) / 장력 (gf)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
300	0.011895	0.007035	0.003219	0.00341	0.0036
400	0.012779	0.008974	0.003021	0.0016	파단
500	0.006237	0.0018	0.001	파단	파단
600	0.0036	0.001413	0.001	파단	파단
700	0.0038	파단	파단	파단	파단

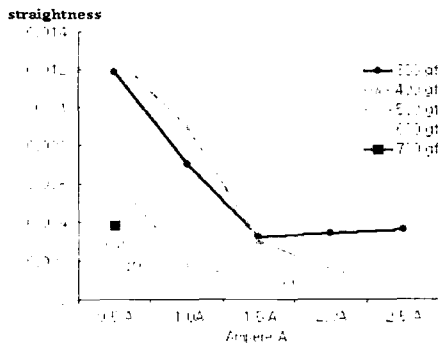


Fig. 11 The straightness according to the ampere

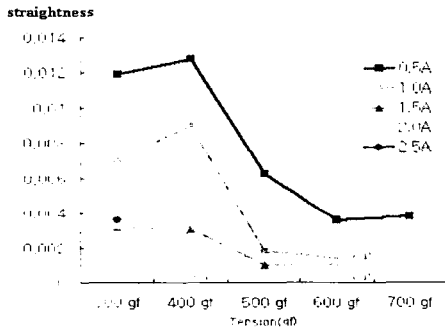


Fig. 12 The straightness according to the tension

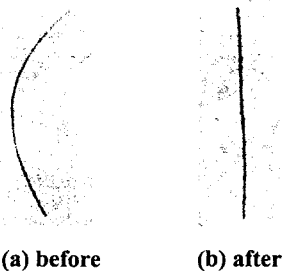


Fig. 12 Comparison of straightening process before and after

대한 직직도 그래프이며, 최적 직직도 구간은 500gf~600gf이다. 500gf~600gf보다 더 많은 장력을 가할 경우 역시 와이어의 파단이 일어났다.

3.4 직선화 처리 결과

본 연구에서는 자체 개발한 직선화 처리기를 이용한 실험을 통하여 텅스텐 와이어의 최적 직직도를 갖는 주요 요인 찾는 것이었다. 주요 요인

인 장력과 전류를 조절함으로써 최적의 직직도를 갖는 텅스텐 와이어를 얻을 수 있었다. 장력 500gf~600gf 그리고 전류는 1.5A 에서 최적의 직직도($\approx 1\mu\text{m} / 1000\mu\text{m}$) 및 진원도($< \pm 2\mu\text{m} / 100\mu\text{m}$)를 갖는 텅스텐 와이어를 얻을 수 있었다. Fig. 12 는 와이어 롤에서 뽑아낸 직선화 처리전의 와이어와 직선화 처리기를 거쳐 직선화를 이룬 와이어의 비교 사진이다. 사진에서와 같이, 원래의 직선과 직선화 처리기를 통하여 높은 직직도를 확보할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 $200\mu\text{m}$ 극세선인 텅스텐 와이어를 이용하여, 최적의 직직도를 갖는 직선화 모듈을 얻기 위하여 직접 가열 방식의 직선화 처리기를 개발하였다.

개발된 직선화 처리기를 이용하여 직선화 처리의 주요 요인인 장력과 온도에 대하여 여러 실험을 하였다. 전류와 온도를 조절하여 그 중 최적의 직직도를 갖는 와이어의 샘플을 얻을 수 있었다. 또한, 전류를 가할 경우 와이어의 산화 현상이 나타났다으며, 이를 방지하기 위하여 Ar 가스를 사용하였다. 장력과 온도가 최적 직선화를 이루는데 중요 요소이며, 직접 가열 방식의 유용성을 확인할 수 있었다. 향후 극세선의 완벽한 직선화를 위한 추가 연구로 정량적, 수치적인 데이터를 명확하게 얻을 수 있는 자동화 시스템을 도입할 예정이다.

후기

본 연구는 차세대 신기술 개발 사업 중 ㈜아이엠텍이 주관인 정밀 편칭 기술을 이용한 Dispatch-Receiving Module 개발의 세부과제로써 수행 중이며, 지원하고 있는 모든 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

- (1) 김현재, 2001, "LTPS TFT-LCD 개발 현황," 한국 정보 디스플레이 학회지, 제 2 권, 제 1 호, pp. 30~35.
- (2) 윤성만, 전병희, 2000, "마이크로 가공 기술," 제 40 권, 제 11 호, pp. 36~41.

(3) 오수익, 2002, "미세 홀 펀칭 기술 개발," 기계저널, 제 42 권, 제 6 호, pp. 36~45.

(4) 한형기, 김성일, 유연철, "304 스테인리스강의 고온 유동응력곡선과 미세 조직의 예측," 기계저널, 제 40 권, 제 11 호, pp. 36~41.