

< 기술논문 >

마이크로 와이어의 직선화 처리에 관한 연구

김응겸[†] · 홍남표* · 김병희** · 김현영**
(2005년 9월 27일 접수, 2006년 7월 11일 심사완료)

Straightening Process of Micro Wires

Woong-Kyum Kim, Nam-Pyo Hong, Byeong-Hee Kim and Heon-Young Kim

Key Words : Direct Heating Method(직접가열방식), Micro Wire(마이크로 와이어), Straightening(직선화), Surface Oxidation(표면산화)

Abstract

This paper deals with the effect of the direct heating method(DHM) for straightening the micro wire. Straightened micro wires have been widely used in the fields of the medicine and the semi-conductor. We have developed a micro wire straightening system by using the direct wire heating method. To controlling the tension of the micro wire during the heating and straightening process, a precision tension sensor was set up. In order to avoid the surface oxidation during the heating process, the argon inert gas was supplied to the vicinity of the wire. And, this paper shows the correlation between the tension and the current when argon gas supplied to the tungsten wire. Through several experiments, the optimal tension and current were found. Also, higher straightness($\approx 1\mu\text{m}/1000\mu\text{m}$) and roundness($< \Phi \pm 2\mu\text{m}/100\mu\text{m}$) founded when 500~600gf tension and 1.5 ampere.

1. 서 론

최근 반도체 및 TFT-LCD 산업의 급속한 발전에 따라 작동 검사 장비인 프로브 스테이션(probe station)의 핵심부품인 마이크로 로드(micro rod)에 대한 수요가 증대되고 있다. 뿐만 아니라 마이크로 로드는 바이오, 디스플레이, 나노분야 등의 응용부품으로 널리 활용되고 있다. 최근 반도체 및 디스플레이장비의 선풍이 감소함에 따라 마이크로 로드의 직경도 감소하는 추세이다. 직경도가 높은 프로브 스테이션의 제작을 위해서는 보다

정밀한 마이크로 와이어의 직선처리 기술이 선행되어야 한다.^(1,2)

프로브 스테이션용 마이크로 로드와 마이크로 와이어의 경우엔 직도 $1\mu\text{m}/1000\mu\text{m}$, 진원도 $\pm \Phi 2\mu\text{m}/100\mu\text{m}$ 이하의 높은 직선화 정밀도가 요구된다. 이러한 수준의 마이크로 와이어의 고품위 직선처리 기술은 국내에선 아직 확보되지 못한 첨단기술로 알려져 있다. 직선화 처리 공정에서 정밀도에 영향을 주는 인자로는 와이어 고유의 방향성, 온도와 장력에 의한 영향, 직선화 처리 후 절단 과정에서의 버 제거, 기타 직선화 처리기 자체에 따른 내부 환경적 요소 등이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.⁽³⁻⁶⁾ 그러나 지금까지의 직선화 처리에 관한 연구는 복잡한 기구를 이용한 방법이 대부분이었다. 이러한 방법은 직선처리 후 와이어 표면에 스크래치로 인한 표면 결함의 문제가 발

[†] 책임저자, 회원, 강원대학교 메카트로닉스공학과
E-mail : ks22ks@kangwon.ac.kr
TEL : (033)244-8910 FAX : (033)257-4190

* 강원대학교 산업기술연구소

** 회원, 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

생되었다.

따라서 본 연구에서는 마이크로 와이어를 직선화하기 위하여 장력, 직접가열방식의 직선화 처리기를 개발하였으며, 직선화 처리기를 이용하여 100 μ m의 텅스텐 와이어를 직선화 시도하였다.

직선화 공정을 최적화하기 위하여 와이어에 인가된 장력, 전류에 의한 온도변화와 불활성가스의 공급 여부에 따른 직선화 특성을 분석하였으며 직선화된 로드의 진원도 및 진직도는 광학적 기법을 통하여 측정하였다.

2. 직선화 처리 시스템의 개발

2.1 직선화 처리 시스템의 구성

직선화 처리 이전의 와이어는 일반적으로 코일 형태이므로 잔류응력이 남아 있다. 이 잔류응력에 의해 와이어의 한쪽 면에는 인장응력이 작용하고 반대 면에는 압축응력이 작용하여 굽힘이 발생한다.⁽⁷⁾ 이를 제거하기 위한 전형적인 직선화 처리 공정으로는 와이어 자체에 단순인장을 가하는 방식[Fig. 1(a)], 롤러를 이용한 직선화 방식[Fig. 1(b)], 와이어를 간접적으로 가열상태에서의 인장을 가하는 방식[Fig. 1(c)] 등이 있다. 그러나 각각의 공정은 시간, 생산성, 표면 거칠기 등에서 실질적 한계를 가지고 있다. 기존 방식의 단점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 와이어를 직접 가열하는 동시에 인장력을 가하여 와이어를 직선화시키는 방식을 채택하였다.

Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 와이어 당김 롤러(wire pulling roller)로 와이어에 장력을 가하며, 장력 조절기(tension manager)와 장력 센서(tension sensor)를 이용하여 장력의 크기를 조절, 측정하였다. 또한, 와이어를 직접 가열하기 위하여, 가열 챔버(heating chamber)의 양측에 DC전류를 인가하였다. 직선화 공정 시 발생하는 와이어표면의 산화를 방지하기 위하여 가열 챔버 내에 불활성 가스를 주입하였다.

2.2 장력 조절 장치

전기적 가열로 인하여 마이크로 와이어의 인장강도가 약해지므로 장력을 인가할 때는 세심한 주의가 필요하다. 이론적인 최대 인장강도 이내에서 장력을 조절하였다.

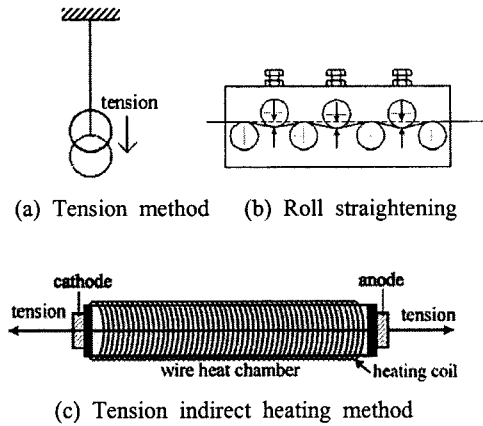
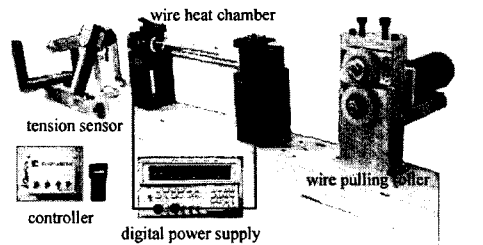
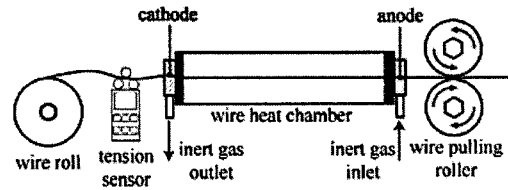


Fig. 1 Conventional straightening methods



(a) Photograph of straightening system



(b) Schematics of straightening system

Fig. 2 Tension direct heating straightening system

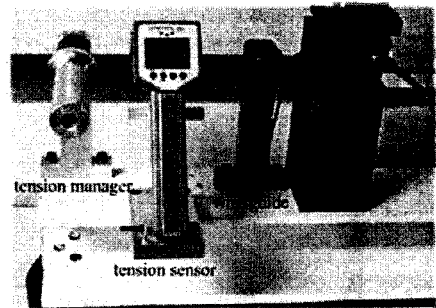


Fig. 3 Components for tension controller

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 장력 조절 장치를 보여주고 있다. 이미 언급한 바와 같이 와이어 당김 롤러에 의해 발생된 장력은 장력 조절기에 의해 그 크기가 조절된다. 장력 조절기에는 양모가 부착되어 있으며, 이 양모의 압착력에 의하여 원하는 장력이 조절된다. 또한, 일정 장력을 유지할 수 있는 장력 센서(TX-5000)를 설치하였으며, 약 50 ~ 5000gf 의 장력을 정밀도 ±1% 오차범위 내에서 측정가능하다.

2.3 와이어 가열 챔버 및 불활성 가스

본 연구에서는 시스템의 간략화를 위하여 와이어 자체에 전류를 인가하는 직접가열방식을 사용하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 축의 양쪽에 전류를 인가하였으며 전류로 인한 시스템 보호를 위하여 전기 접점과 시스템 본체 사이를 테프론으로 절연하였다.

직접가열방식의 경우 Fig. 5에서 보는 바와 같이 와이어의 표면 산화 현상이 두드러지게 나타난다. 이러한 산화 현상을 방지하기 위해 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 가열 챔버 내에 불활성 가스인 아르곤 가스를 공급하였으며 레귤레이터(regulator)를 이용하여 공급되는 가스량을 조절하였다.

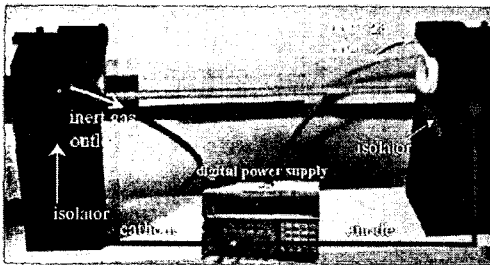
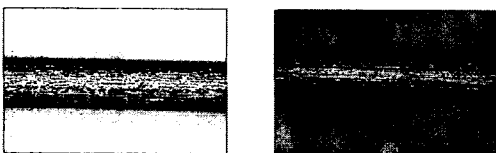


Fig. 4 Wire heating chamber



(a) Before straightening (b) After straightening
Fig. 5 Surface oxidation image of wires (W, ×400)

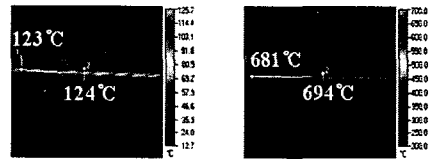
3. 결과 및 고찰

3.1 직선화 구간의 온도 측정

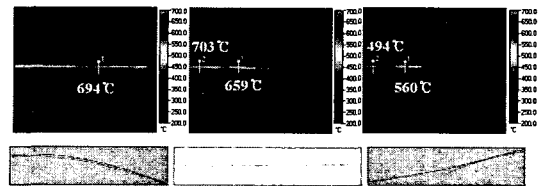
직선화 공정 시 마이크로 와이어의 온도를 측정하기 위하여 적외선 카메라를 이용하였다. 적외선 카메라를 사용하여 정확한 온도를 측정하고자 할 때는 피 측정물의 방사율과 적외선 투과시 재질의 투과율을 보정하여 측정해야 한다.⁽⁸⁾

직선화 공정이 이루어지는 가열 챔버는 유리관으로 이루어져 있으며, 와이어는 유리관 내로 이동한다. 이와 같이 와이어 온도를 측정하기 위하여 텅스텐 와이어의 고유 방사율(ϵ)과 유리 투과율(τ)을 보정하여 온도를 측정하여야 한다.

Fig. 6(a), (b)는 텅스텐의 고유 방사율($\epsilon=0.15$)과 유리관 투과율($\tau=0.52$)을 보정하여 와이어의 온도를 측정된 결과를 나타내고 있다. Fig. 6(b)에서 보는 바와 같이 직선화 공정 시 와이어의 온도는 약 700°C 정도임을 알 수 있었다.



(a) Before compensation (b) After compensation



(c) 0 kg/cm² (d) 0.5 kg/cm² (e) 1.0 kg/cm²

Fig. 6 Temperature compensation and distribution in accordance with the argon flow-rate

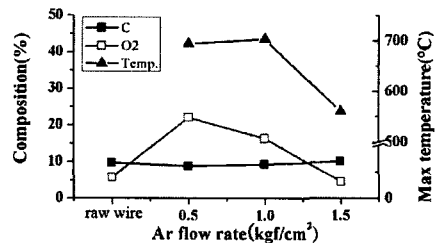


Fig. 7 Composition and temperature of wire after straightening process

3.2 불활성 가스의 영향

불활성 가스량이 직선화를 이루는 임계량보다 적거나 많으면 와이어에는 잔류응력이 남게 되며, 이 잔류응력에 의하여 진직도는 감소하게 된다. 잔류응력이 최소인 온도를 확인하기 위하여, 직선화 처리 시 아르곤 가스량에 따른 극세선의 온도분포를 측정하였다. Fig. 6(c), (d), (e)는 아르곤 가스량에 따른 극세선의 온도 분포와 각각의 직선화 결과를 보여주고 있다. 불활성 가스량이 0.5 kg/cm²일 때가 다른 조건 Fig. 6(c), (e)에 비하여 더 좋은 직선화 결과를 나타냄을 알 수 있다.

직접 가열로 인하여 와이어에는 표면 산화가 일어나며 표면 거칠기가 매우 불량해진다. 이와 같은 이유로 산화 방지용 가스를 투입해 주어야 한다. 산화 방지용 가스로는 불활성 가스인 아르곤을 사용하였다.

Fig. 7은 직선화 후 아르곤 가스량에 따른 텅스텐 와이어의 산화 정도와 온도를 나타내고 있다. 아르곤 가스량이 약 0.5kg/cm² 이상 증가하면, 가열 챔버 내 산소량이 감소하여 와이어의 산화가 감소한다. 최적 진직도를 갖는 와이어의 온도는 700℃로써 최적 가스량은 약 0.5kg/cm²이다.

3.3 장력과 전류의 영향

장력 조절과 와이어 직접가열의 조건을 이용하여 직선화 공정을 수행하였다. 직선화 공정을 마친 와이어를 이용하여 진원도 및 진직도를 평가하였다.

진직도 평가 방법으로는 양 끝점 기준법(end-point method)이나 최소 자승법(least-square method)⁽⁹⁾ 등 여러 가지가 있으며, 진원도의 경우에는 최대 내접원법(maximum inscribed circle method)⁽¹⁰⁾ 등을 이용하여 평가하는 방법이 있다.

본 연구에서는 Fig. 8과 같이 진직도를 평가하기 위하여 와이어를 길이 방향으로 100mm 절단 후 이미지 프로세싱에 의한 방법으로 길이에 대한 수직 높이의 비율(h/l)로써 평가 하였으며, 직경은 무시하였다.

또한, 진원도의 경우 Fig. 9와 같이 와이어의 전단면을 최대 내접원법(maximum inscribed circle method)을 이용하였다. 와이어의 진원도 결과는 약±1.8 μ m/100 μ m로써, 앞에서 제시한 허용한도 이내의 와이어를 얻을 수 있었다.

Table 1은 이미지 프로세싱에 의한 진직도 측정 결과를 장력과 전류에 대하여 나타내었으며, 장력 500gf ~ 600gf 및 전류 1.5A 에서 최적의 진직도를 갖는 마이크로 와이어를 얻을 수 있었다.

Fig. 10은 Table 1을 바탕으로, 전류와 장력에 대한 진직도를 그래프로 나타내었다. 1.5A보다 더 많은 전류를 인가할 경우, 높은 온도로 인하여 와이어의 파단(burnt out)이 발생하였으며, 500gf ~ 600gf보다 더 많은 장력을 인가할 경우, 인장력을 버티지 못하고 와이어의 파단이 발생하였다.

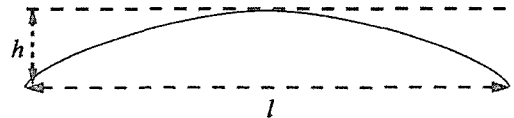


Fig. 8 Measurement of straightness

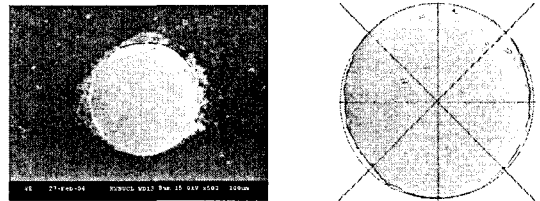


Fig. 9 Roundness of the 100 μ m tungsten wire (roundness:±1.8 μ m/100 μ m)

Table 1 The straightness results of tungsten wires according to the tension and current

current(A) \ tension(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	burnt out
500	0.006237	0.0018	0.001	burnt out	burnt out
600	0.0036	0.001413	0.001	burnt out	burnt out
700	0.0038	burnt out	burnt out	burnt out	burnt out

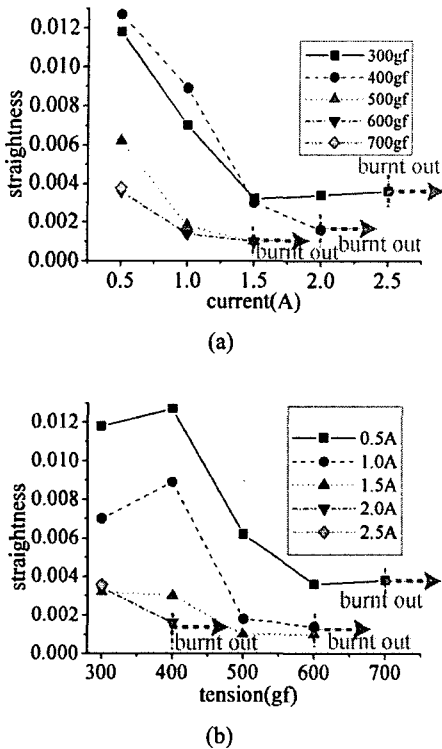


Fig. 10 Straightness results of the 100µm W-wire

3.4 실험 결과

인발공정을 통하여 생산된 와이어에 남아 있는 잔류응력을 제거하기 위하여 전류 및 장력을 이용하여 직선화 공정을 수행하였다

텅스텐 와이어의 최적 직선화 조건은 전류 1.5A, 장력 500~600gf의 조건이며, 불활성 가스를 직선화 공정 중에 공급하였다. 불활성 가스는 텅스텐 와이어의 진직도 및 표면산화를 방지하는 효과가 있었으며, 가스는 직선화에 영향을 미치는 요소임을 알 수 있었다. 직선화 처리 공정 시 적외선 카메라를 이용하여 텅스텐 극세선의 온도를 측정한 결과 약 700℃ 임을 알 수 있었다.

이와 같이 직선화를 이루는 장력과 온도를 조절하여 허용한도 이내의 진직도 및 진원도를 이루는 마이크로 와이어를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 자체 개발한 직선화 처리기를 이용하여 텅스텐 와이어의 최적 진직도를 갖는

주요 요인 찾는 것이었다. 다양한 실험을 통하여 직선화 공정의 주요 요인인 장력과 전류를 조절함으로써 최적의 진직도를 갖는 와이어를 얻을 수 있었다.

직선화되지 않은 와이어를 자체 제작한 직선화 처리기를 통하여 높은 진직도 및 진원도를 확보할 수 있었다. 장력 500gf~600gf, 전류 1.5A에서 진직도($\approx 1\mu\text{m}/1000\mu\text{m}$) 및 진원도($\pm \phi 2\mu\text{m}/100\mu\text{m}$) 이하의 텅스텐 와이어를 얻을 수 있었다. 또한 직선화 공정 시 불활성 가스인 아르곤 가스를 사용하여 표면 산화를 방지하였다.

본 실험을 통하여 직접 가열 방식의 유용성을 확인할 수 있었으며, 향후 마이크로 와이어의 직선화를 위한 추가 연구와 품질을 향상 시킬 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- (1) Kim, B. H., Kim, W. K., Kim, H. Y., Yoon, S. M. and Na, K. H., 2005, "A Study on the Straightening Process of Micro Wires," *5th Japan-Korea Joint Symposium on Micro-Fabrication*, Vol. 5
- (2) Kim, H. J., 2001, "The Present Development of LTPS TFT-LCD," *The Korea Information Display society*, Vol. 2, No. 1, pp. 30~35.
- (3) M. Nastran and K. Kuaman, 2002, "Stabilization of Mechanical Properties of the Wire by Roller Straightening," *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 711~719 .
- (4) Kim, S. C. and Chun, S. C., 2002, "Synthesis of the Multi-step Straightness Control System for Shaft Straightening Process," *Mechatronics*, pp. 139~156.
- (5) Lee, D. Y., Chung, Y. H. and Shin, M. C., 1982, "Development of Residual Stress in Roll Straightened Tubes," *Journal of the Korean Institute of Metals*, Vol. 20, No. 12, pp. 1086~1089.
- (6) Lee, D. H., Park, S. J., Sohn, J. H. and Yoo, W. S., 2002, "An Evaluation of Load of the Steel Bar Straightener Using Plastic Moment," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 5, No. 3, pp. 195~199.
- (7) Han, H. K., Kim, S. I. and Y. C. Yoo, 2000,

- "Predict on Flow Curves and Micro Structure of 304 Stainless Steel," *The Korean Society for Technology of Plasticity Conference*, Vol. 9, No. 1, pp. 72~79.
- (8) MiKAEL` A. Bramson, 1995, "Infrared Radiation(A Handbook for Application)," pp. 535~536, PLENUM
- (9) Virdee M. S., "Non-contacting Straightness Measurement to Nanometer Accuracy," *Int. J. of Machine Tool & Manufacture*, Vol. 35, No. 2, pp. 157~164.
- (10) Guu S. M. and TSAI D. M., 1999, "Measurement of Roundness : a Nonlinear Approach," *Proc. Nalt. Sci. Counc. ROC(A)*, Vol. 23, No. 3, pp. 348~349.