韓國精密工學會 '95年度 春季學術大會論文集 pp.414~419

He-Ne 레이저를 이용한 와이어 방전가공기의 와이어 변위 측정
Measurement of Wire Displacement of WEDM using He-Ne laser

홍 준 모*, 전 병 철*, 조 용 무**, 유 웅 재*, 김 재 도***
* : 인하대학교 기계공학과 대학원
** : 대유공업전문대학 금형설계과
*** : 인하대학교 기계공학과

Abstract

The wire displacement of wire electric discharge machine has been measured using He-Ne laser. A measurement system consisted of He-Ne laser, A/D converter, 4 divided photodiode, amplifier, sensor process instrument, and personal computer. The processing parameters were varied with feed rate, wire tension, wire speed and voltage. The laser beam intensity transmitted on a 4 divided photodiode was varied by processing wire electric discharge machine with various process parameters. The 4 divided photodiode and amplifier were used to change the detected beam intensity into voltage.

Variation of wire displacement was between 11 and 125μm. The wire tension was dominant on the variation of wire displacement among many parameters.

1. 서론

최근 공작기계의 초정밀, 고성능화의 개발로 인해 보다 나은 정밀한 가공이 행해지고 있다. 따라서, 생산가공기술의 고도화에 따른 초정밀 부품이 요구됨에 따라 초정밀 공작기계의 수요가 늘게 되었다. 이러한 공작기계의 정밀도 보장 및 유지를 위해서는 정밀측정기술의 발전도 필연적이 되고 있다. 그 중에서 레이저 및 그 관련 기술은 기초과학 발전에 큰 기여를 하고 있을 뿐만 아니라 레이저의 고휘도성, 고출력성 등의 성질을 이용하여 비접촉식 광학측정에 많이 이용되고 있는 실정이다. 한편, 금형제작에 많이 사용되고 있는 와이어 방전가공기는 보다 정밀한 가공을 위하여 와이어의 거동을 파악하려는 연구가 필요하다.[1)~3)]

광원을 이용하여 변위를 측정한 것은 1900년도 초반 Michelson에 의해서 최초로 이루어 졌고, 1970년도에는 Michelson 위상간섭계가 갖는 문제점을 개선하기 의해 미국의 Hewlett-Packard의 엔지니어에 의해 주파수 변환 간섭계가 제안되었으며, 최근 1980년대말에는 회절간섭에 의한 변위측정이 실용화 되었다.[4)] 그 후 레이저와 광센서가 발달함에 따라 운동오차나 위치오차 계측에 대한 분야로 확대되어 왔다. 최근에는 반도체와 IC의 발달로 소형경량으로 취급하기 편리한 계측기가 개발되고, 특히 기계 내에 장치되는 경향이 있다.[5), 6)] 와이어 방전가공에 대한 연구로서는 H. Sthioul 등은 와이어 진동을 FFT로 측정하여 진동특성에 관한 연구를 하였고, M. Fukui등은 와이어 방전가공기의 와이어 거동에 관하여 연구하였으며, K. Kobayashi등은 와이어 방전가공의 가공면 진직도 향상에 관한 연구를 수행하였다.[7), 8), 9)] 그렇지만 와이어 거동에 관한 연구는 적고 그것도 정적인 거동에 관한 것에 머물러 있다. 왜냐하면 와이어는 가늘고 변위는 적으며, 가공중의 전기적 노이즈라든가 가공액에 의한 광학적 노이즈등 때문에 직접측정이 어렵다고 여겨지고 있기 때문이다. 극간전압파형의 시계열특성에 주목해서 가공중 와이어의 운동을 간접적으로 추정하는 시도가 이루어지고 있으나 방전특성과 와이어의 거동과의 사이의 관계가 명확하다고는 할 수 없는 상태이다.

이에 따라서 본 연구는 와이어 방전가공기의 와이어의 거동을 측정할 수 있는 실험장치를 구성하였다. 실험장치로는 He-Ne 레이저, 4분할 포토다이오드, A/D 변환기, 증폭기, 센서이송장치 및 PC로 구성하였다. 그리고 방전가공 조건을 변화시켜서 각각의 조건에 대하여 전압

신호를 받아서 변위를 측정하여 분석·고찰하였다.

2. 실험장치

2.1. 레이저 측정장치 구성

Fig. 1은 본 실험에 사용된 레이저 측정장치를 나타낸 것이다. 이것은 He-Ne 레이저, 4분할 포토다이오드, A/D 변환기 증폭기, 센서 이송장치 및 PC로 구성하였다. 포토다이오드에서 출력되는 전류신호를 증폭하기 위하여 증폭기를 구성하였다. 증폭기의 설계는 외부에서 +15V, 0V, -15V의 전원을 4개의 2000KΩ가변저항을 연결한 회로로 구성되어 있다. A/D변환기는 고속까지 변환을 수행할 수 있는 축차비교형을 사용하였다. 와이어의 변위를 측정하기 위해서 포토다이오드를 와이어의 중앙에 정확하게 장착할 수 있도록 센서이송장치를 구성하였다. 포토다이오드는 PN-4-12R형으로서 분광감도 영역이 420~1100nm이고 특히 900nm의 파장영역에서 감도가 최대가 되며 입사광량에 대한 출력 전류의 직진성과 고속의 응답성을 가지고 있다. 이것은 각각의 포토 다이오드들이 변하는 레이저의 신호에 대하여 서로 다르게 변화하는 특수성이 있고, 레이저에 대한 감도의 우수성으로 인하여 실험에서 많이 사용되고 있는 제품이다.

2.2. 와이어 방전가공기 및 시편

실험에 사용된 와이어 방전가공기는 원일전기㈜의 제품으로 공작물 이송속도(feed rate), 와이어장력(wire tension), 와이어 속도(wire speed), 평균 가공전압(Average process voltage) 등을 조정할 수 있게 되어 있다. 와이어는 황동재를 사용했으며, 직경은 0.25mm이다.

시편의 재질은 각종 금형재료로 많이 쓰이고 있는 합금공구강 STD11을 열처리하여 사용하였다. 즉, 1050℃에서 20분간 가열한 후, Oil quenching하고 즉시 200℃에서 60분간 Tempering하였다.

2.3 He-Ne 레이저

본 실험에 사용한 He-Ne 레이저는 Melles Griot사의 제품으로 출력이 10mW, 파장의 길이가 632.8nm, 빔의 직경이 0.68mm로 계측에 많이 사용되는 소형레이저이다. He-Ne 레이저의 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of He-Ne laser

Minimum CW Power Output (mW)	10
Wavelength (nm)	632.8
Mode	TEM_{00}
Beam Diameter at $1/e^2$ Points (mm)	0.68
Beam Divergence (mrad)	1.18
Longitudinal Mode Spacing (MHz)	341

3. 실험방법

본 연구에서는 He-Ne 레이저, 4분할 포토다이오드, 증폭기, A/D 변환기, 센서이송장치 및 PC로 측정장치를 구성하였다. He-Ne 레이저에서 발생된 레이저광은 와이어에 조사되고 이것이 포토다이오드를 통해서 들어와 전기적인 신호로 바뀌게 된다. 이 전기적 신호는 매우 약하기 때문에 증폭기를 통하여 증폭되고 A/D 변환기로 변환되어 PC로 들어간다. 포토다이오드에서 발생하는 전류는 증폭기를 통하여 전압으로 변환되고, 이를 A/D 변환한 다음 PC의 신호해석 프로그램과 연결하였다.

통상의 방전가공시의 가공액 공급은 와이어를 가공액으로 감싸듯이 하는 동축식이지만 본 실험에서는 가공중의 와이어의 변위를 측정하기 위하여 하측노즐에서는 동축식으로 공급하지만 상측노즐로부터는 극간에서 조금 떨어진 위치에서 즉 레이저 계측부분 바로 아래에서 주입식으로 가공액을 공급했다. 방전가공조건으로는 공작물 이송속도, 와이어 장력, 와이어 속도, 및 전압 등을 가공변수로 해서 각각의 조건을 변화시켜 실험하였다.

측정된 레이저 빔의 강도와 와이어의 변위를 캘리브레이션하기 위하여 와이어와 레이저를 포토다이오드의 중앙에 고정시킨 채 포토다이오드를 일정한 거리로 이동시켰다. 이 때 포토다이오드에서 출력되는 빔의 강도를 알 수 있으므로, 빔의 강도와 이동한 거리와의 관계로부터 와이어의 변위를 계산할 수 있다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 빔의 강도와 와이어의 변위를 캘리브레이션하여 와이어의 변위를 계산할 수 있었으며, 센서의 선형성을 관찰할 수 있었다.

Fig. 3은 공작물 이송속도를 변화시켰을 때, 4분할 포토다이오드로 받은 레이저 빔의 강도를 나타낸 것이다. 그림에서 빔의 강도가 변화하고 있음을 알 수 있는데, 이는 와이어가 가공중에 진동을 하고 있다는 것을 나타

낸다. 빔의 강도가 낮은 것은 와이어가 포토다이오드를 많이 가렸기 때문이며, 와이어의 변위가 크다는 것을 알 수 있다. (a)는 공작물 이송속도가 1mm/min일 때 진동하는 와이어에 조사된 빔의 강도를 나타낸 것으로, 빔의 강도는 4.32V정도이고, 이것을 Fig. 2를 이용하면 변위는 38μm라는 것을 알 수 있었다. (b)는 빔의 강도가 4.39V였고, 변위는 33μm였으며, (c)는 빔의 강도가 4.43V이고, 변위는 31μm였다. Fig. 4는 공작물 이송속도를 1, 2, 3mm/min으로 각각 변화시켰을 때 와이어의 변위를 비교한 것이다. 공작물 이송속도가 증가할수록 와이어의 변위는 작아진다는 것을 알 수 있다. 실제 방전가공시 공작물의 이송속도가 증가하면 가공상태가 향상된다고 사료된다.

Fig. 5는 와이어 장력을 변화시켰을 때, 포토다이오드로 받은 레이저 빔의 강도를 나타낸 것이다. (a)는 와이어 장력이 4notch일 때 와이어에 조사된 빔의 강도를 나타낸 것으로, 빔의 강도는 2.15V정도였으며, 변위는 125μm라는 것을 알 수 있었다. (b)는 빔의 강도가 2.74V였고, 변위는 101μm였으며, (c)는 빔의 강도가 4.83V이고, 변위는 11μm였다. Fig. 6은 와이어 장력을 4, 6, 8notch로 각각 변화시켰을 때 와이어의 변위를 비교한 것이다. 와이어 장력이 증가할수록 와이어의 변위는 작아진다는 것을 알 수 있다. 이는 와이어의 장력이 증가할수록 진동이 고차모드로 변화하기 때문인 것으로 생각되며, 실제로 방전가공시에 장력을 허용치까지 증가시키고 가공을 한다.

Fig. 7은 와이어 속도를 변화시켰을 때, 포토다이오드로 받은 레이저 빔의 강도를 나타낸 것이다. (a)는 와이어 속도가 8notch일 때 와이어에 조사된 빔의 강도를 나타낸 것으로, 빔의 강도는 4.04V정도였고, 변위는 48μm라는 것을 알 수 있었다. (b)는 빔의 강도가 4.11V였고, 변위는 46μm였으며, (c)는 빔의 강도가 4.51V이고, 변위는 30μm였다. Fig. 8은 와이어 속도를 8, 10, 12notch로 각각 변화시켰을 때 와이어의 변위를 비교한 것이다. 와이어 속도가 증가할수록 와이어의 변위는 작아진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 와이어의 평균가공전압을 변화시켰을 때, 4분할 포토다이오드로 받은 레이저 빔의 강도를 나타낸 것이다. (a)는 평균 가공전압이 45V일 때 와이어에 조사된 빔의 강도를 나타낸 것으로, 빔의 강도는 3.62V정도였고, 변위는 71μm라는 것을 알 수 있었다. (b)는 빔의 강도가 4.74V였고, 변위는 15μm였으며, (c)는 빔의 강도가 4.80V이고, 변위는 11μm였다. Fig. 10은 평균 가공전압을 45, 55, 65V로 각각 변화시켰을 때 와이어의 변위를 비교한 것이다. 평균 가공전압이 증가할수록 와이어의 변위는 작아진다는 것을 알 수 있다.

결과적으로, 와이어 방전가공시에는 와이어의 장력이 공작물에 가장 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

이와같이 각각의 가공변수는 와이어에 많은 영향을 미치므로, 공작물의 가공성에 영향을 준다. 따라서 와이어의 변위측정은 공작물의 정밀도나 진직정도와 같은 가공상태와 상관관계가 있음을 예측할 수 있다.

5. 결론

와이어 방전가공중 He-Ne 레이저를 이용하여 와이어 변위를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. He-Ne 레이저를 이용한 변위측정장치를 개발하여 와이어의 변위를 측정할 수 있었다.
2. 와이어의 장력이 와이어의 변위에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

참고문헌

1) 芳野俊彦 등, "광계측기술의 동향", 계량관리 33, 2, 2, 1984.
2) O. Svelto, "Principles of Lasers", Plenum press, NY, 1976.
3) A. Yariv, "Optical Electronics" Third Ed., Holt-Saunders International Editions, NY, 1985.
4) Weck, M., 1984, Handbook on Machine Tools ; Vol. 4-Metrological Analysis and Performance Tests, John Wiley & Sons.
5) L. Li, W. M. Steen, K. Shi and D. J. Brookfield, "Sensor Development for Inprocess Quality Inspection and Optimization of High Speed Laser Can Welding Process", Proceedings of LAMP'92, 1992.
6) K. I. Schultz and S. Fisher, "Ground-based laser rader measurement of satellitte vibrations", J. of Applied Optics, Vol. 31, No. 36, 1992.
7) H. Sthioul, R. Delpretti, C. Tricarico, D. F. Dauw, "Improvement of the Wire EDM Cutting Precision by Vibration Analysis and Control", Annals of the CIRP, Vol. 38, 1989.

8) M. Fukui 外 2人, "放電ワイヤカットのワイヤ擧動に關する硏究", 日本電氣工學會誌 Vol. 14, No. 28, 1980.

9) K. Kobayashi 外 3人, "ワイヤ放電加工の加工面眞直精度向上に關する硏究", 日本精密工學會誌 Vol. 59, No. 4, 1993.

10) 김창호, "방전가공", 기전연구사, 1992.

11) 편집부, "와이어커트 방전가공", 기다리, 1990.

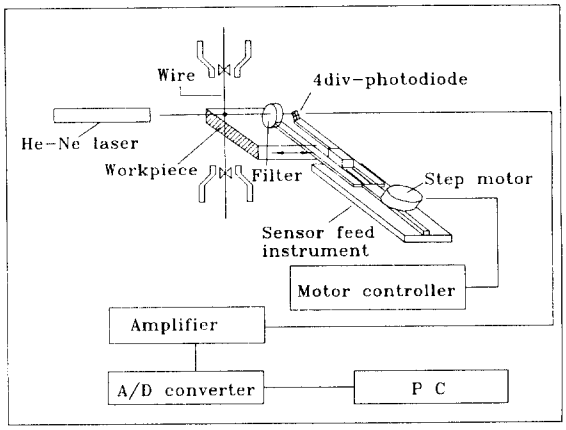


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up.

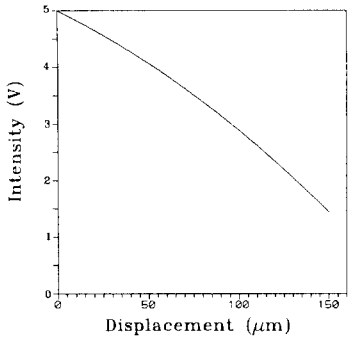
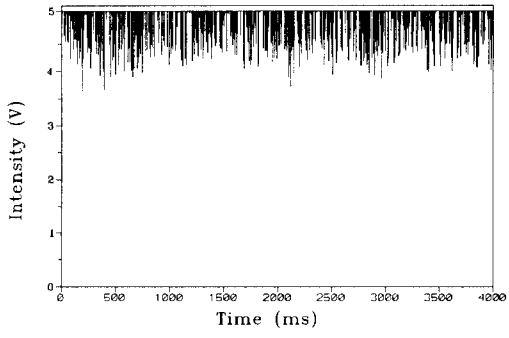
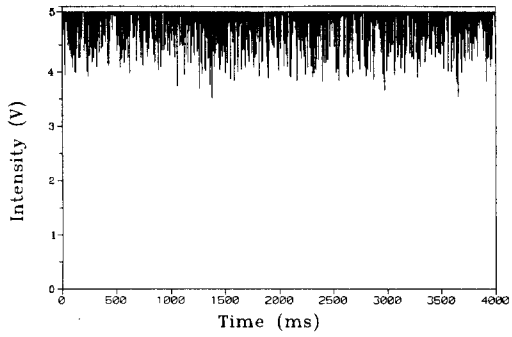


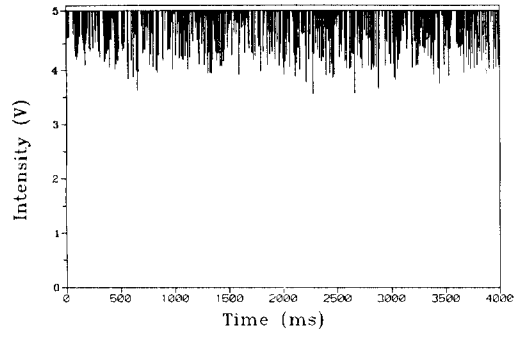
Fig. 2 Relation between displacement and intensity



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Variation of intensity with time.

(a) Feed rate : 1 mm/min
(b) Feed rate : 2 mm/min
(c) Feed rate : 3 mm/min

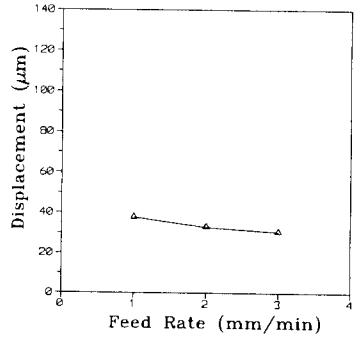
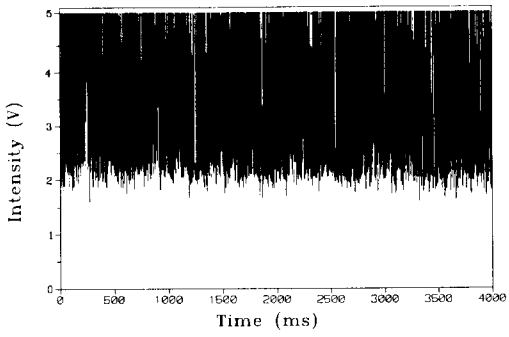


Fig. 4 Variation of wire displacement with feed rate.



(a)

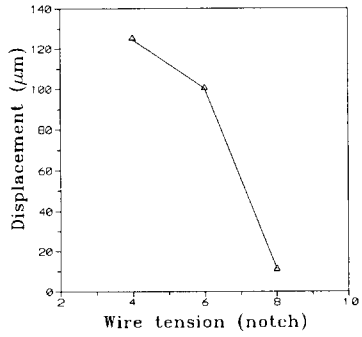
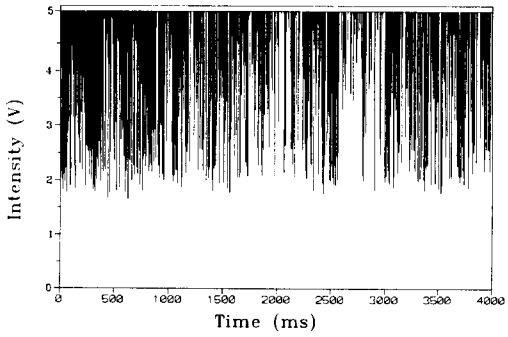
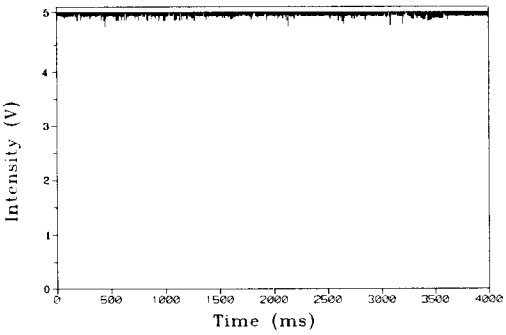


Fig. 6 Variation of wire displacement with wire tension.



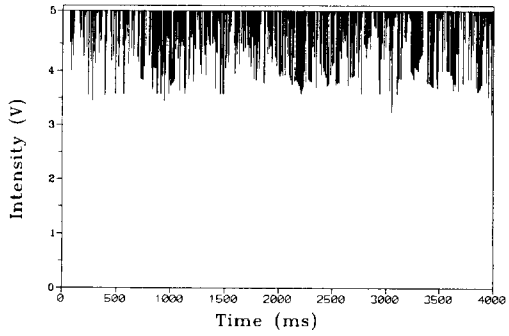
(b)



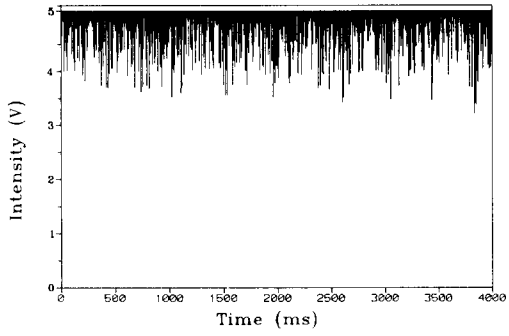
(c)

Fig. 5 Variation of intensity with time

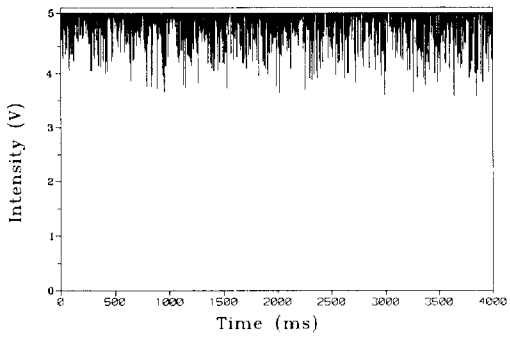
(a) Wire tension : 4 notch
(b) Wire tension : 6 notch
(c) Wire tension : 8 notch



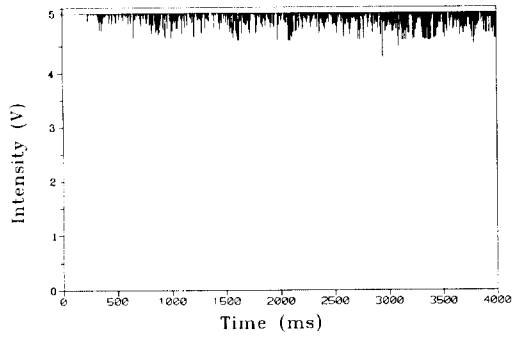
(a)



(b)



(c)



(b)

Fig. 7 Variation of intensity with time

(a) Wire speed : 8 notch
(b) Wire speed : 10 notch
(c) Wire speed : 12 notch

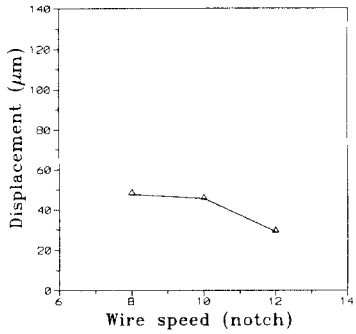
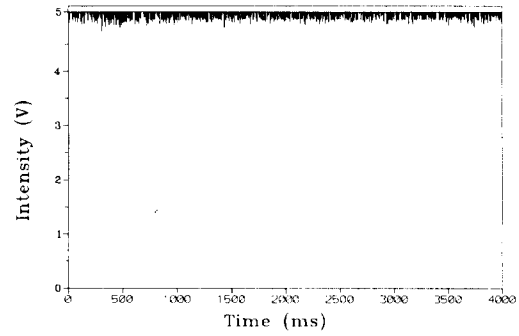


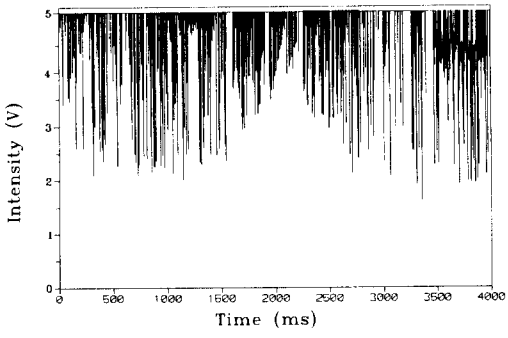
Fig. 8 Variation of wire displacement with wire speed.



(c)

Fig. 9 Variation of intensity with time

(a) Average process voltage : 45 V
(b) Average process voltage : 55 V
(c) Average process voltage : 65 V



(a)

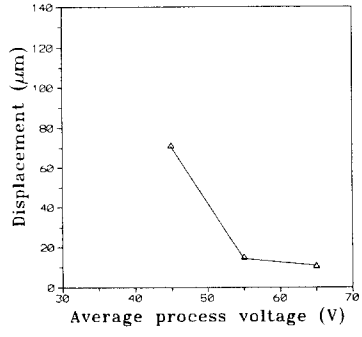


Fig. 10 Variation of wire displacement with average process voltage.