

마이크로웨이브를 이용한 Dieless Wire Drawing에 대한 연구

허 유 (경희대학교 기계·산업시스템공학부), 김승훈*(경희대학교 대학원 섬유공학과),
김종성(경희대학교 대학원 섬유공학과), 김인석(경희대학교 전자정보학부),
백영남(경희대학교 기계·산업시스템공학부)

A Study on the Dieless Wire Drawing Using Microwave

You Huh(Mechanical and Industrial System. Eng. Dept. KHU), S. H. Kim *(Textile Eng. Dept., KHU),
J. S. Kim(Textile Eng. Dept., KHU), I.S. Kim (Electronics and Information Eng. Dept. KHU),
Y.N. Paik (Mechanical and Industrial System. Eng. Dept. KHU)

ABSTRACT

Micron-sized metal wires are widely used in industries such as filtration, catalyst and composite materials, etc. In the wire drawing process, the die that is used conventionally is an effective and, at the same time, sensitive component. However, a typical array of the dies has caused many problems in the wire drawing process, e.g., large frictional force on the interface between wire and the resulting high heat generation, precise adjustment of the dies, extended cooling system, die abrasion, etc.. Because of these problems, there have been many works that are aiming at improving the efficiency of wire drawing process by analyzing the die geometry and by applying advanced die material to prolong the die life or even at developing a dieless wire drawing system.

This paper is dealing with developing a new wire drawing system that is applicable to reduce the wire drawing steps with high draw ratio. The new wire drawing system does not use the dies, but use the self-induced heater that works on the basis of the resonant phenomenon of wire material. The electromagnetic wave is the heating source. The results of the study on the diameter reduction and microwave flow analysis show that the heating effectiveness of the wire is influenced by the energy distribution in the microwave propagation chamber. We can obtain diameter-reduced wires by using microwave in the dieless drawing process. Microwave as a heating source is capable of producing wires without applying dies in wire drawing process.

Key Words : Microwave (마이크로파), Metal wire (메탈와이어), die drawing (다이인밸), dieless drawing (다이리스인밸), induction heating (유도가열)

1. Introduction

산업이 발전함에 따라 현대산업에서는 복합기능성을 가진 유연화 재료를 필요로 하고 있다. 이러한 복합재료로서 금속을 이용한 metal wire 공정기술은 다양한 이용가능성으로 인하여 그 필요성이 증가하고 있다. 현재 마이크론 사이즈의 metal wire는 각종필터, 고강도 복합재료, 촉매제등 많은 분야에서 그 사용 가능성이 증가하고 있다. 현재까지 metal wire의 생산은 여러 개의 다이를 각각의 인발 구간에 연속적으로 설치하여 사용하는 단선 다단 인발법이 사용되어 왔다. 이러한 금속 와이어 인발에서 다이의 사용은 공정중에 금속시료와 다이사이

에서 발생하는 높은 마찰열과 그에 따른 다이의 마모문제를 야기시켰다. 또한 높은 열과 마모를 감소시키고자 사용되는 냉각제와 윤활유의 산화문제 또한 금속 와이어의 생산을 비효율적으로 만드는 원인이 되었다. 이러한 공정에서는 생산자가 생산품의 직경감소율을 변화시키고자 할 때 모든 다이를 교체하고 다시 공정조건을 설정하여야 하는 비효율성이 존재하였다. 다이를 사용한 금속 와이어 인발 공정의 효율성을 증가시키고자 다이의 각도, 재료, 여러 종류의 냉각제 적용 등 문제점을 개선하려는 많은 연구가 있었다. 또한 다이가 가지는 한계를 극복하고자 다이를 사용하지 않고 dieless wire drawing method를 사용한 induction heating(2MHz)법,

laser heating 법 등 선행 연구가 있었다[1~5]. 다이를 사용하지 않는 wire drawing 의 장점은 다음과 같다.

- 높은 힘과 마찰력을 요구하는 재료에 적합하다.
- 직경의 감소율은 공급속도와 권취속도의 비를 조절함으로서 간단히 결정할 수 있다. 또한 생산공정 중에도 직경감소율 조정이 가능하다.
- 전통적인 방법보다 더 큰 직경감소율을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 고효율, 가열물에 대한 균일한 제어가 가능한 microwave 유도가열법을 사용하였다. 현재 microwave 는 마그네트론(magnetron)으로 고주파를 발생시키고 많은 기업들에 의한 대량생산 체제에 의하여 저렴한 가격에 공급되고 있다. 그리고 제조기술의 발달로 마그네트론의 품질이 상당한 수준에 이르고 있으며 소형 경량화로 인해 고산회성을 유지하고 있다. 본 연구에서는 microwave 를 가열원으로 사용하는 새로운 dieless drawing system 을 설계하였고 새로운 공정기술을 바탕으로 microwave 에 의한 금속 시료의 발열현상과 공정조건 그리고 dieless drawing system 에서의 microwave 의 사용 가능성을 알아보았다.

2. Experimental system

2.1 The new dieless drawing system

새로운 microwave dieless drawing system 은 Fig.1 과 같이 크게 네 부분으로 구성되어 있다.

- (a) 인발력을 생성하는 회전 디스크부
- (b) 회전 디스크의 속도를 조절하는 속도 변환장치
- (c) 시료 공급 및 권취부
- (d) 순간 가열부

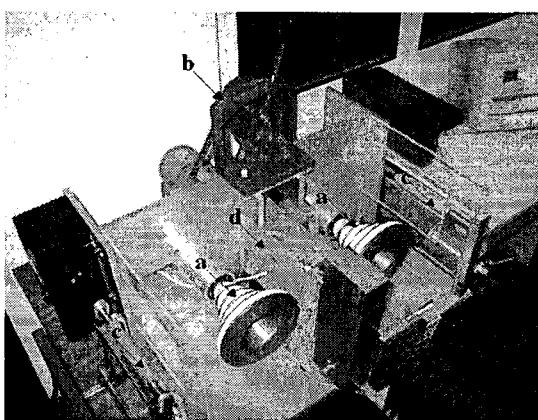


Fig.1 Photograph of the dieless wire drawing system using microwave.

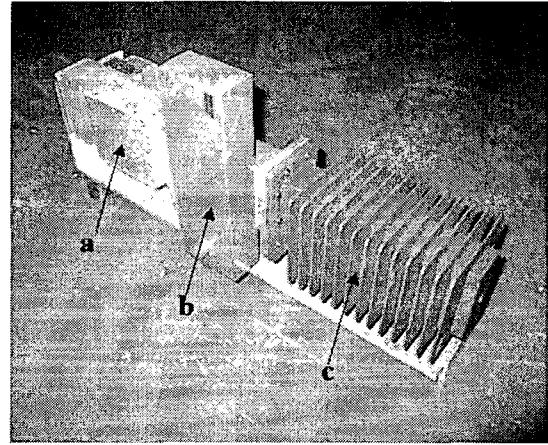


Fig.2 Photograph of the heating device using microwave generated from the magnetron.

2.2 Heating device

본 연구에서 사용된 가열장치는 1kW, 2.4GHz 의 마그네트론을 사용하였고 그 구성은 Fig.2 와 같이 세 부분으로 구성되어 있다.

- (a) 마그네트론에서 발생된 마이크로파를 원하는 방향으로 진행시키기 위한 microwave chamber
- (b) 흐르는 microwave 의 주파수와 파워를 측정할 수 있는 attenuator
- (c) microwave 흡수장치

가열은 와이어가 microwave chamber 내부를 통과할 때, 전자파에 의한 유도작용에 의하여 와이어 표면에 유도전류가 발생하고, 이때 와전류 손실(Eddy Current Loss)에 의하여 도전체에 주울 열이 발생하므로써 이루어진다.

3. Experiments

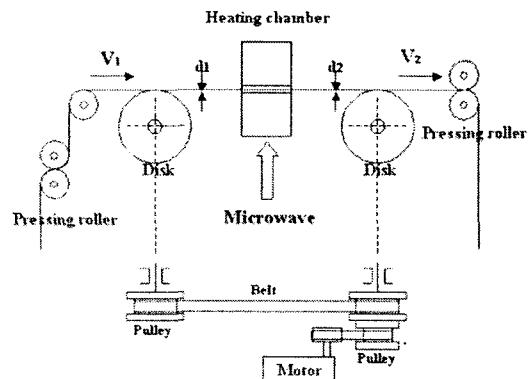


Fig.3 Configuration for the dieless drawing system using microwave.

Table 1. Specifications of the material and experimental conditions of the dieless drawing

Material	copper
Mean diameter	0.5mm
CV	1.85%
Initial velocity (V1)	5mm/sec
Initial diameter of the wire (D1)	0.5 mm
Variation of draw ratio	1.1~1.4

본 연구에서 사용된 와이어의 공급과 권취는 표면이 경화 세라믹 코팅이 이루어진 디스크로 이루어지며, 서로 다른 회전비에 의해서 인발력이 발생하게 된다.(Fig.3)

Fig.3에서 공급속도를 V1 권취속도를 V2, 각 단면의 직경을 d1, d2 라고 했을 때 와이어의 인발효과는 직경감소율 R_d로 나타내며, 질량보존의 법칙에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_2 \cdot d_2^2 = V_1 \cdot d_1^2 \quad (1)$$

$$R_d = 1 - \frac{d_2}{d_1} = 1 - \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \quad (2)$$

인발비 (draw ratio, D.R.)를 입력속도에 대한 권취속도의 비로 나타내면

$$D.R. = \frac{V_2}{V_1} \quad (3)$$

따라서 직경감소율과 인발비와의 관계는

$$R_d = 1 - \frac{1}{\sqrt{D.R.}} \quad (4)$$

로 주어진다.

본 연구에서의 가열원은 회전하는 두개의 디스크에 의해서 시료가 공급/권취될 때, microwave chamber 내부를 통과하는 와이어에 유도되는 유도전류에 의한 주울 열이므로 사용된 시료에 따라 가열 효과가 달라진다. 본 실험에서는 0.5mm 단면 직경을 갖는 copper를 시료로 사용하였다.

실험에서 사용된 시료의 사양과 실험 조건은 Table 1과 같다.

4. Results and Discussions

4.1 Simulations of the energy distribution

본 연구에서는 microwave chamber의 벽면에 hole을 만들고, 그 사이로 와이어를 통과시켜 유도가열을 하였다. 최초 시료의 공급방향과 microwave의 발생방향을 서로 수직하게 했을 때 와이어에 발열

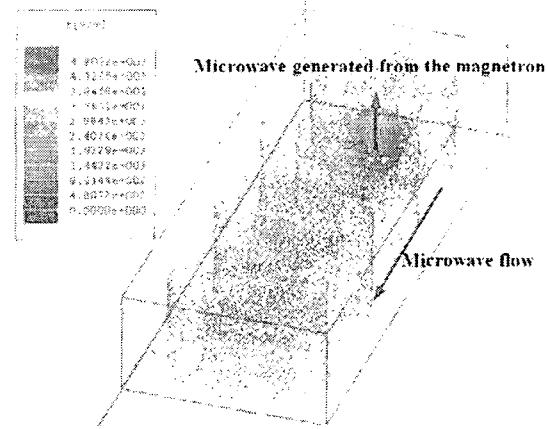


Fig.4 The simulation result for the energy distribution in the microwave chamber.

현상이 일어나지 않았다. 이는 microwave 가 chamber 내부에서 반사를 반복하며 진행하는 진행방향과 진행방향에 따른 내부 에너지 분포와 밀접한 관련이 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 chamber 내부에서 발생하는 에너지 분포를 시뮬레이션 프로그램 HFSS를 통하여 확인해 보았다. Fig.4는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. Fig.4에서 알 수 있는 바와 같이 microwave는 chamber 내부에서 반사를 반복하며 원통형의 반복되는 기둥형태로 진행하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 각 기둥의 중심부로 갈수록 에너지의 세기가 큰 것을 확인할 수 있었다. Simulation 결과를 바탕으로 와이어의 진행방향을 microwave의 진행방향과 평행하도록 하고, 와이어가 에너지 밀도가 가장 높은 위치를 통과시킴으로써 시료가 가열되고, 일정 조건이 만족되지 않은 경우, melting이 일어나면서 단선되는 현상을 확인하였다.(Fig.5)

X 40



Fig.5 Photographs showing the breakage ends of the wire.

4.2 The efficiency of the diameter reduction

금속 시료는 공급속도 5mm/sec로 설정하였고 draw ratio는 속도 변환기에 의한 권취속도를 제어하였다. 시료의 직경감소의 변화는 Fig.6에서 보는 바와 같고 직경감소에 따른 실험결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 draw ratio가 커질수록 CV(%)가 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉 시료의 직경감소율이 증가할수록 시료의 불균제가 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig.7은 실험에서 얻어진 금속 시료의 단면의 직경 감소율(a)과 이론상의 draw ratio에 따른 직경감소율(b)을 비교 한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 실험에서 얻어진 시료단면의 직경감소율이 이론상의 감소율보다 약간 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 실험과정에서 시료와 둘러 사이에서 약간의 slip 현상과 금속시료의 고유한 탄성에 의한 것으로 판단된다. 앞으로 생산속도의 향상과 가열물에 대한 균일한 제어를 위해서 microwave의 주파수와 generator의 출력변화에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

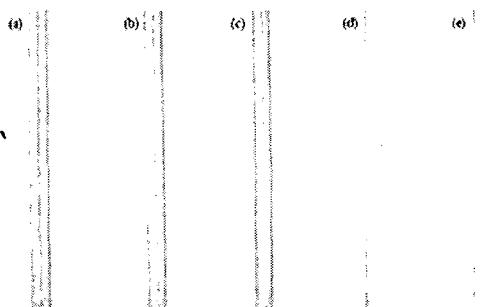


Fig.6 Photographs of the reduction of the wire diameter(40X).

(a) : initial wire, (b) : the drawn in DR1.1, (c) : the drawn in DR1.2, (d) : the drawn in DR1.3, (e) : the drawn in DR1.4

Table 2. The reduction of the wire diameter according to the draw ratio

Classification	Draw ratio(V2/V1)	Mean diameter	CV(%)
(a)	1	0.5	1.85
(b)	1.1	0.478	2.21
(c)	1.2	0.459	3.72
(d)	1.3	0.439	4.44
(e)	1.4	0.424	4.27

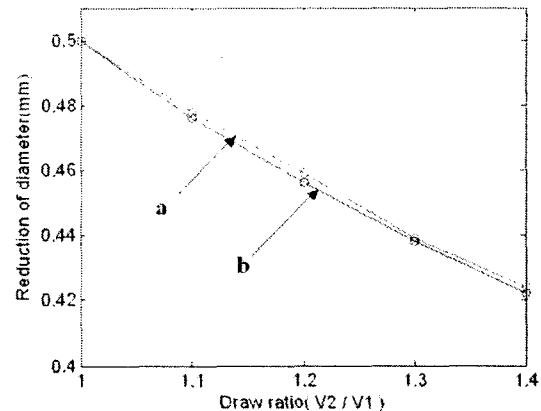


Fig.7 The reduction of diameter of the wire according to the draw ratio.

(a : experimental, b : theoretical)

5. Conclusions

본 연구에서는 가열원으로서 microwave를 이용한 새로운 dieless wire drawing system을 설계, 제작하고, 새로운 인발장치로서의 실용 가능성을 실험해 보았다. 실험결과 microwave의 진행방향과 heating chamber 내부의 에너지 분포 그리고 시료의 진행방향 등이 시료의 발열현상에 중요한 요소로서 작용하고 있음을 확인하였고, 공정조건을 만족할 때 직경이 감소된 연속적인 시료를 얻을 수 있었다. 또한 dieless wire drawing system에서의 가열원으로서 microwave의 사용 가능성을 확인하였다.

References

1. V. Wiess, R. Kot, Dieless wire drawing with transformation plasticity, Wire J. 9 (1969) 182-189
2. H. Sekiguchi, K. Kobatake, K. Osakada, A fundamental study in dieless drawing, Proceedings of the 15th MTDR Conference, Birmingham, 1974
3. H. Sekiguchi, K. Kobatake, K. Osakada, Development of dieless drawing process, Advanced Technology of Plasticity 1987, Vol. I, Springer, Stuttgart, Germany, August 24-28, 1987
4. M.S.J. Hashmi, G.R. Symmons, H. Parvinmehr, A novel technique of wire drawing, J. Mech. Eng. Sci. 24 (1982) 1-4
5. Yonggang. Li, Nathaniel. R. Quick, Aravinda. Kar, Dieless laser drawing of fine metal wires, J. Materials Processing Technology, 123 (2002) 451-458