

자기연마법에서 자극 진동 효과

박원규[#], 노태우*, 최 환**

The Effect of Vibratory Magnetic Pole by Magnetic Abrasive Finishing

Won-Kyou Park[#], Tae-Woo Rho*, Hwan Choi**

ABSTRACT

An internal finishing process by the application of magnetic abrasive finishing has been developed as a new technology to obtain a fine inner surface of pipe. In this paper, another method of magnetic abrasive machining in which the N and S magnetic poles are vibrated and a workpiece is rotated only is tried in a non-ferromagnetic pipe(SUS304), and its finishing characteristics is experimently investigated by various effective factors such as vibrating frequency and amplitude. From the experimental results, it is found that the vibration effects of magnetic poles on the finishing characteristics are large in internal finishing

Key Words : Magnetic Abrasive Finishing(자기연마), Internal Finishing(내면연마), Vibratory Magnetic Pole(자극진동), Non-ferromagnetic Pipe(비자성 파이프), Magnetic Abrasives(자성입자)

1. 서 론

자기연마법이라 부르는 새로운 연마법은 자계작용을 이용하여, 자성연마재에 연마압력을 발생시키는 원리로, 부품 표면의 경면가공이나, 정밀부품의 디버링 가공 등에 적용하여 활발한 연구가 이루어지고 있다^{1,2}. 최근에는 산업기술의 발달로 반도체나 정밀기기 등과 같은 첨단산업 및 바이오산업에서의 초 청정설비(Ultra clean Equipment)의 중요성이 급진하고 있다. 이러한 초 청정설비의 중요 요소 중의 하나는 크린 파이프의 제조기술이다. 보통 청정설비에 사용되는 파이프는 고순

도의 가스나 초순수 물질을 이송하기 때문에 이송 시 오염을 극소로 하기 위해서는 파이프 내면의 표면정도가 나노 스케일이 되어야 한다. 현재 이러한 크린 파이프의 내면연마는 보통 전해연마법에 의해 수행되고 있으나 전해연마의 경우는 화학적 가공방법이기 때문에 가공전에 행하여지는 기계연마의 가공정도에 따라 가공효율이 크게 달라진다. 따라서 최근에는 초 청정 파이프의 내면정도를 더욱 향상시키기 위하여 파이프와 같이 긴 원통내면을 보다 쉽게 연마할 수 있는 자기연마법에 대한 연구들이 시도되고 있다³.

본 논문은 초 청정산업에 폭넓게 사용되고 있는 SUS304 파이프 내면의 표면정밀도를 향상시키기 위하여 정자장을 이용한 자기연마방식으로 자극에 진동을 부여하였고, 진동수 및 진폭을 변화시켜 자극진동이 연마성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

교신저자 : 경기공업대학 금형설계과
E-mail : wkpark@kinst.ac.kr

* 브룩스오토메이션코리아(주)

** 금오공과대학교 기계공학부

2. 자극 진동방식

Fig. 1은 원통 외면자기연마법에 관한 연마개념도로, 사용되는 자성연마재에는 가공영역으로 집중 충전 시키려는 자력이 작용하며, 이 자력은 식 (1)로 나타낼 수 있고,^[4] 식에서 자력은 자성연마재의 직경 또는 자장강도와 그 변화율이 크면 클수록 커지게 된다.

$$\begin{aligned} F_x &= V \chi_r \mu_0 H \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \\ F_y &= V \chi_r \mu_0 H \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서

V : 자성연마재의 체적,

χ_r : 자성연마재의 비자화율,

μ_0 : 진공의 투자율,

H : 자계강도,

x : 자력선방향, y : 등자위선방향.

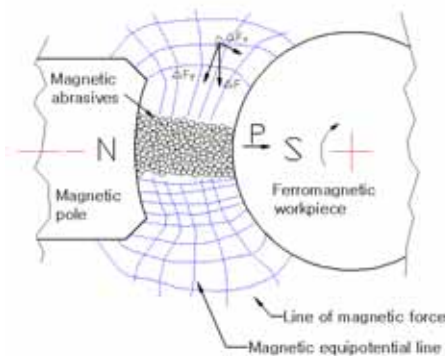


Fig. 1 Schematic view of cylindrical magnetic abrasive finishing

식(1)의 자력에 의해 가공영역에 충전된 자성연마입자들은 자기흡인력에 의해 서로 브러쉬 형상으로 정렬하면서 공작물 표면에 압력(P)을 발생 시키고, 이것이 연마압력으로 되어 가공이 이루어진다. Fig. 1에서 먼저 공작물이 회전·진동하는 경우, 자성연마입자는 자극에 흡인되고 공작물의 진동에 의해 상대운동을 일으켜 연마가 이루어진다. 이때 공작물의 진동운동에 대해 자성연마입자는 자극에 강하게 흡인되

고 정지력이 커져 상대운동이 일어나기 쉽다. Fig. 2와 같이 자극이 진동하는 경우, 자성연마입자는 자극 진동운동에 따라 추종하게 되고 연마저항과 관성력이 작용하면 추종력은 저하 된다. 그러므로 효율적인 연마를 하기 위해서는 이러한 저항력보다 자력이 커야 되고, 만약 연마저항이 큰 차이가 없다면 연마저동은 거의 관성력에 의해 좌우된다고 생각된다.

따라서 공작물 진동방식의 경우, 연마 브러쉬와 공작물 표면과의 상대운동은 자극 진동방식보다 크므로 연마효율은 증가되지만 실제 가공장치를 고려하면, 척의 가진장치를 포함해 전용장치가 필요하게 되고 중량물의 경우는 가진 자체가 곤란하게 된다.

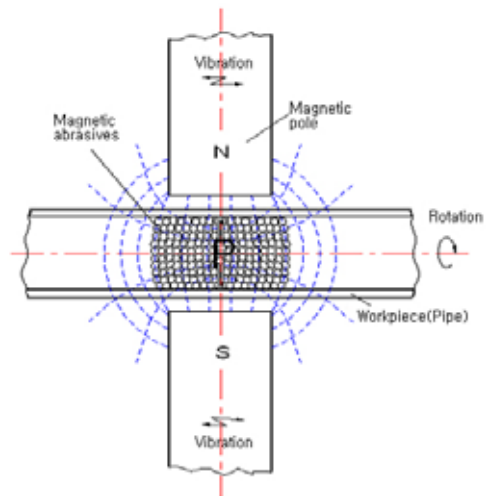


Fig. 2 Schematic view of internal magnetic abrasive finishing with vibration

그러므로 가공장치를 소형화, 유니트화 하여 범용 기계에 간단하게 탑재 가능한 Fig. 2의 자극진동방식을 본 연구에서는 채택하였다.

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 내면 자기연마 장치는 Fig. 3과 같이 소형선반(1.1kW)을 이용하였으며, 선반왕복대에 영구자석으로 구성된 자장발생요크(Yoke)를 설치하여 파이프의 내면 연마실험을 하였다. 자극으로는 자

력의 누적을 최소화하고, 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B계의 사각 영구자석을 사용하였으며 요크를 만들어 자로를 형성하였다.

자극에 진동을 주기 위하여 자장발생요크 유닛 하단부에 LM가이드를 부착하고 후면에 소형모터와 캠장치를 연결하여 모터회전수와 캠의 편심량 변화에 따라 진동수 및 진폭이 변화하도록 선반의 양복대 위에 소형 가진장치를 구성하였다.

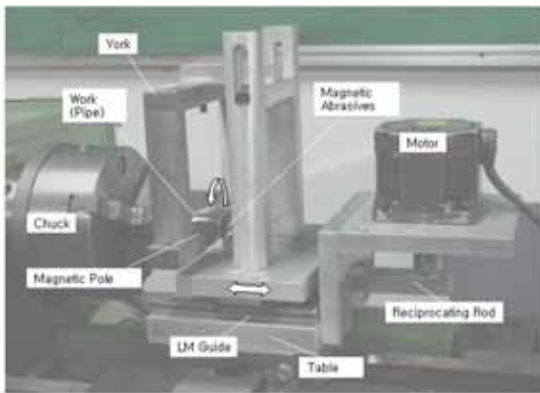
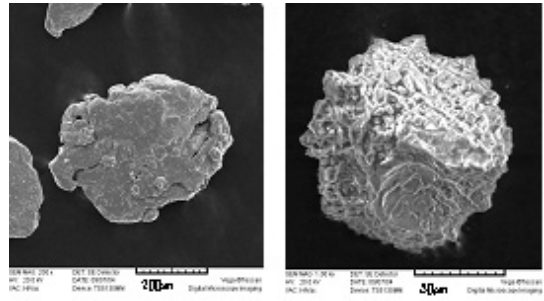


Fig. 3 Experimental set-up

실험방법은 먼저 파이프를 선반 척에 고정하고, 파이프 내면에 철분과 자성입자를 일정 비율로 혼합한 자성입자를 투입하여 파이프를 회전시키면서 N-S 자극을 가진 장치에 의해 진동수 및 가진 폭을 변화시켜 가며 연마실험을 하였고, 연마량은 전자저울(Ohaus, 측정단위; 0.001g)로 측정하였고, 표면 거칠기는 측정장치(Surfest SV-600, Mitutoyo)를 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 실험에 사용된 전해철분과 자력에 작용하는 Al₂O₃ 자성입자^[5]의 현미경(VEGA TS 5130MM, TESCAN) 확대사진으로 전해철분의 성분은 순수 철 성분이며 Al₂O₃ 자성입자는 철과 알루미늄이 결합된 형태의 성분이다. 연마에 사용되는 단순 혼합 자성입자에서 Al₂O₃ 자성입자만으로도 연마가공은 가능하나 파이프 내면에 작용하는 연마압력이 약하므로, 좀 더 강한 연마압력을 얻어 연마 성능을 높이기 위하여 전해철분을 혼합하여 실험을 하였다.



a) Iron particle b) Al₂O₃ magnetic abrasive

Fig. 4 Mixed type magnetic abrasive.

Table 1에 실험조건을 나타내었다.

Table 1 Experimental condition

Machine	Lathe 1.1kW
Workpiece	SUS 304 stainless steel pipe D:φ23 L:100 t : 1
Mixed Type magnetic abrasives	Iron particles 80 wt% (mean dia. : 330μm) Al ₂ O ₃ magnetic abrasives 20 wt% (mean dia.: 80μm)
Magnetic pole	Fe-Nd-B permanent magnetic 18×18×20 mm
Machining fluid	Straight oil type 5 wt%
Magnetic flux density	N-S : 0.45T
Finishing speed	1.7 m/s
Pole arrangement	N-S 180°
Finishing time	1 ~ 9 min.
Finishing Gap	1 mm
Frequency	3, 10 Hz
Amplitude	4, 10 mm

4. 실험결과 및 검토

4.1 진동에 의한 연마효과

비자성체 파이프의 내면을 연마하는 방법은 Fig. 2에서와 같이 자성입자와 철분을 단순 혼합한 자성연

마재를 파이프 내면에 충전 하였고 파이프 외벽에 자극(N-S)을 두고 동시에 파이프 회전을 통해 상대 운동을 시킴으로써 연마가 되도록 하였다. Fig. 5는 자극에 진동을 주는 경우와 주지 않았을 경우, 연마 후 표면 상태를 공구현미경으로 관찰하고 표면 거칠기를 측정 한 결과이다.

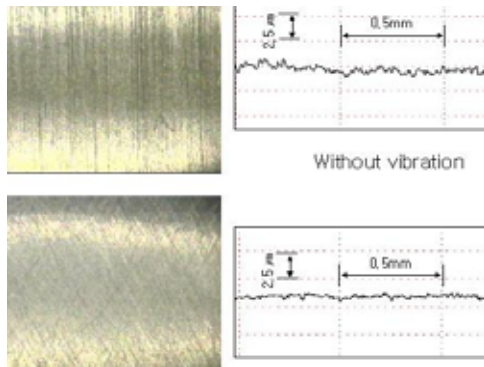


Fig. 5 Surface roughness profiles and photographs of finished surface observed by metallurgical microscope(Frequency:3Hz, Amplitude:4mm)

Fig. 5에서 연마된 파이프의 표면을 관찰하면 진동을 주지 않은 경우는 연마제의 긁힘 흔적(Scratch)이 주로 파이프의 원주방향으로 나타남에 비해 진동을 주어 가공한 연마표면의 긁힘 흔적은 마치 빗살무늬 처럼 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 자극에 진동을 줌으로써 파이프의 내면에 충전된 연마제가 주지 않은 경우에 비해 훨씬 활발히 움직인다는 것을 의미하며, 그로 인하여 표면상태가 보다 양호해 짐을 알 수 있다.

Fig. 6은 자극에 진동을 주었을 경우와 주지 않은 경우의 진동효과를 정량적으로 살펴보기 위하여 진동 주파수를 3Hz로, 진폭을 4mm로 하고 가공시간에 따른 표면 거칠기 및 연마량을 측정 한 결과이다. Fig. 6에서 자극에 진동을 주게 되면 주지 않은 경우에 비해 연마량이 증가되고, 표면 거칠기도 우수하게 개선된다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 자극에 진동을 주어 가공하게 되면 진동에 의해 연마성능이 매우 우수해 짐을 알 수 있다.

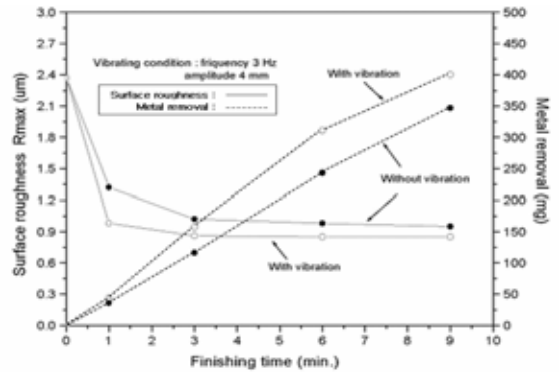


Fig. 6 Comparison of the finishing effect between vibration and non-vibration of magnetic poles

4.2 진동수 변화

자극 진동수가 연마성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 내경 $\phi 23\text{mm}$ 의 SUS304 파이프를 1400rpm으로 회전 시키면서 요크부의 진폭을 4mm로 고정 한 후, 진동수를 $f=3\text{Hz}$ 와 $f=10\text{Hz}$ 로 변화하였다. 이때 연마시간 변화에 따른 연마량의 결과를 Fig. 7에, 표면 거칠기를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7에서 공작물의 연마량은 연마시간이 경과할수록 크게 증가하였으며, 진동수가 3Hz인 경우가 10Hz보다 훨씬 크게 나타났다. 또한, Fig. 8에서 표면 거칠기는 가공시간이 약 3분까지는 급격히 감소하다가 3분후에는 그 변화가 거의 일정하였으며, 진동수가 3Hz와 10Hz인 경우를 비교하면 서로 차이가 없음을 알

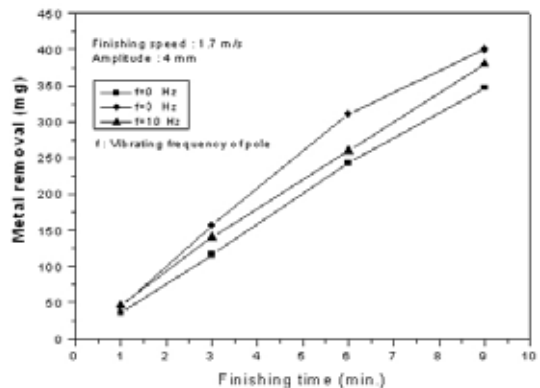


Fig. 7 Metal removal versus finishing time according to vibrating frequency

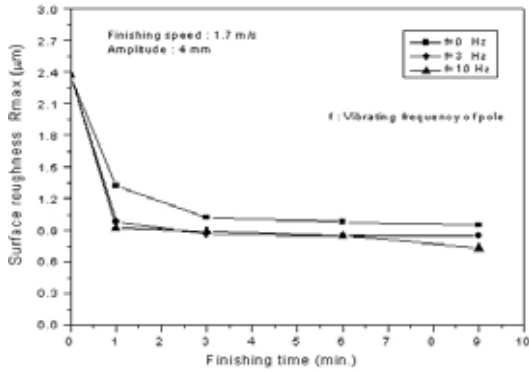


Fig. 8 Surface roughness versus finishing time according to vibrating frequency

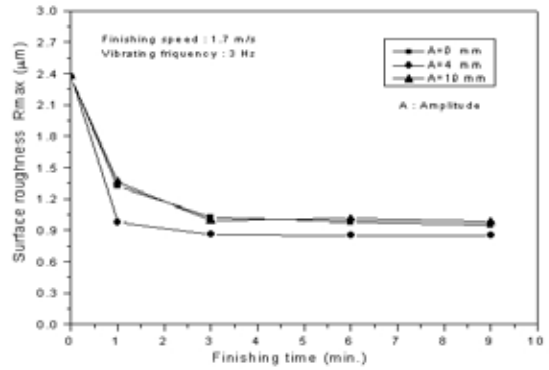


Fig. 10 Surface roughness versus finishing time according to amplitude

수 있다. 이러한 결과로 볼 때 자극에 진동을 너무 크게 주면(10 Hz의 경우), 가진이 너무 빠르기 때문에 자극의 운동에 대한 연마제의 추종성이 오히려 떨어지게 되고, 그로 인하여 연마성능 저하되는 것을 알 수 있다. 따라서 연마성능을 높이기 위해서는 자극에 적정 진동수를 부여하여야 한다고 사료된다.

4.3 진폭변화

Fig. 9와 Fig. 10은 진폭이 연마성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 내경 $\phi 23\text{mm}$ 의 SUS304 파이프를 1400rpm으로 회전하면서 진동수를 $f=3\text{Hz}$ 로 고정하고 진폭을 $A=4\text{mm}$ 와 $A=10\text{mm}$ 로 변화시켰을 때 연마시간에 따른 공작물의 연마량과 가공면의 표면 거칠기를 살펴본 결과이다.

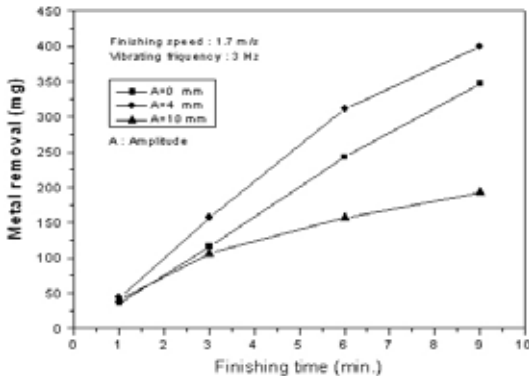
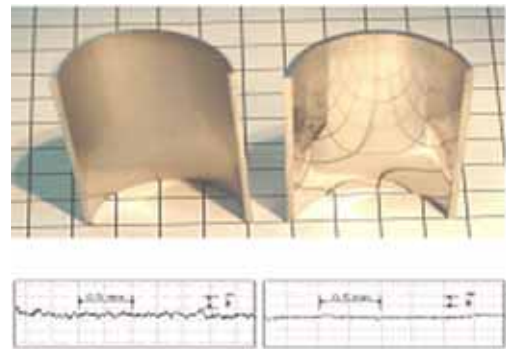


Fig. 9 Metal removal versus finishing time according to amplitude

Fig. 9와 Fig. 10에서 진폭변화에 따른 연마량을 살펴보면 진폭을 4mm로 한 경우가 진폭을 10mm로 한 경우에 비해 연마량이 거의 2배 가까이 크게 나타났으며, 표면 거칠기 또한 양호하게 개선되었음을 알 수 있다. 이것은 가진 폭이 적정 이상으로 크게 되면, 연마제의 운동량이 상대적으로 증가하게 되어 연마제의 연마압력이 감소하게 되므로 연마성능이 저하되는 것으로 판단된다.

따라서 이러한 결과로 볼 때 자극에 적정한 진폭을 주어야 연마성능을 높일 수 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 자극진동방식에 의한 SUS304 파이프의 연마성능을 살펴보기 위하여, 내경 $\phi 23\text{ mm}$, 길이 50 mm의 SUS304 파이프를 진동수 3Hz, 진폭 4mm로



$R_{\max}=2.5\mu\text{m}$, $R_a=0.4\mu\text{m}$ $R_{\max}=0.8\mu\text{m}$, $R_a=0.1\mu\text{m}$

Fig. 11 Finishing effect of magnetic abrasive machining with vibration

약 6분간 연마한 후 연마전과 연마후의 표면을 관찰하고 표면 거칠기를 측정된 결과이다. Fig. 11에서 연마 후 파이프 내면의 표면 거칠기는 Ra 0.1 μ m, Rmax 0.8 μ m로 연마전의 표면 거칠기인 Ra 0.4 μ m, Rmax 2.5 μ m에 비해 매우 양호한 값을 나타냈으며, 가공면 또한 매우 우수한 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 연구는 파이프 내면연마를 위해 자극진동방식의 자기연마 장치를 설계, 제작하여 내면연마를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자극에 진동을 주면 연마량이 증가하고, 표면 거칠기가 양호하게 되어 진동을 주지 않을 경우에 비해 연마성능이 우수하다.
2. 종래의 공작물 회전·진동방식에 비해 자극진동방식을 이용하면 가진이 곤란한 공작물의 자기연마가 가능하다.
3. 연마성능을 높이기 위해서는 자극에 적정 진동수와 진폭을 가해야만 한다는 것을 알았으며, 본 논문의 실험범위에서는 진동수는 3Hz, 진폭은 4mm의 경우가 효율적인 최적연마조건이다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교의 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shinmura, T., "Magnetic Abrasive Finishing Process and it's application," Tool engineer, Vol. 42, No. 5, pp. 13~17, 1998.
2. Lee, Y. C., Anzai, M. and Nakagawa, T., "A Study on Improving the Efficiency Magnetic Abrasive Polishing for Die & Mold Surface," KSPE, Vol. 13, No. 6, pp. 59~65, 1996.

3. Park, W. K. and Choi, H., "The Magnetic Finishing Characteristics of Pipe Inside Polished by Slurry Circulation System," KSMPE, Vol. 3, No. 1, pp. 38~44, 2004.
4. Shinmura, T., Takazawa, K. and hatano, E., "Study on Magnetic-abrasive Finishing.(1st report)," JSPE, Vol. 52, No. 05, pp. 851~857, 1986.
5. Shinmura, T., Takazawa K., and Hatano E., Study on Magnetic Abrasive Finishing," Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 325~328, 1995.