

# 자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(I)

박원규\*, 노태우(금오공대 기계설계학과), 서영일((주) 공간코리아),  
최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부)

## The Internal Finishing Characteristics of Non-ferromagnetic Pipe Polished by Magnetic Abrasive Machining (I)

W. K. Park, T. W. Rho(Dept. of Eng. Sci. & Mech., KNUT), Y. I. Seo(KongkanKorea),  
H. Choi, J. C. Lee, S. H. Cheong(Dept. of Mech. Eng., KNUT)

### ABSTRACT

An internal finishing process by the application of magnetic abrasive machining has been developed as a new technology to obtain a fine inner surface of pipe. In this paper, the finishing process of a non-ferromagnetic pipe by a static magnetic field method is introduced and its finishing characteristics is discussed with effective factors by various experiments. From these experimental results, it is found that the proper suppling quantity of magnetic abrasives per diameter of pipe is important, and the inner surface roughness of pipe is not changed much after certain critical finishing time. As a result of this investigation the 3.2 $\mu$ m Rmax in inner surface roughness of stainless steel pipe is improved to 0.7 $\mu$ m Rmax after 6 minutes finishing.

**Key Words :** Magnetic abrasive machining(자기연마), Internal finishing(내면연마), Non-ferromagnetic pipe(비자성 파이프), Magnetic abrasives(자성입자)

### 1. 서론

반도체 관련 산업뿐만 아니라 원자력 관련 의료, 항공, 우주관련의 각종 산업분야의 고성능제조 공정에서는 초정정화기술(Ultra clean technology)이 요구되고 있으며 이중 중요한 한 분야가 크린파이프의 제조기술이다. 고순도 가스나 초순수물질의 이송배관이나 용기 내면의 오염을 막기 위하여 내면의 정밀도가 Ra 0.02 $\mu$ m이하의 나노미터스케일의 초정밀 표면상태를 필요로 하고 있다.<sup>1)</sup>

현재 이러한 크린파이프의 내면은 전해연마법에 의해 연마가공하고 있으나 가공원리상 전가공표면의 정밀도가 매우 중요하다. 또한 크린파이프는 일반적으로 가늘고 길며(내경 0.2~150mm, 길이 2~8m), 엘보우관 등의 형상이 많기 때문에 전가공방법이나 전해조건, 전극 설정 등이 어려우며 환경을 고려한 폐용액의 처리문제도 중요한 과제로 되어있다. 본 연구에서는 자장이라는 개념을 정밀연마가공에 응용한 자기연마법<sup>2)</sup>을 이용하여 비자성파이프 (재료 SUS304) 내면의 자기연마 특성을 검토하고, 경제성 있고 환경을 고려한 고품질의 크린파이프 내면의 정밀연마 가능성을 확인하고자 하였다.

### 2. 정자장방식의 가공 메카니즘

Fig.1은 자극을 정지시키고 파이프를 고속회전시키는 정자장 이용법에 관한 가공개념도이다. 자력선의 물체투과 작용에 의해 파이프내에 투입된 자성입자는 비자성파이프 외부에 설치된 자극에 의해 내면에 자기 흡입되며1개의 자성입자에 작용하는 x방향의 자력 Fx는 식 (1)과 같이 자성입자의 직경 D의 3제곱과 변화율  $\chi$ , 자장강도 H와 그 변화율( $\partial H/\partial x$ )에 비례하여 결정된다.<sup>3)</sup> 여기서 K는 상수이다.

$$F_x = KD^3 \chi H (\partial H/\partial x) \text{-----}(1)$$

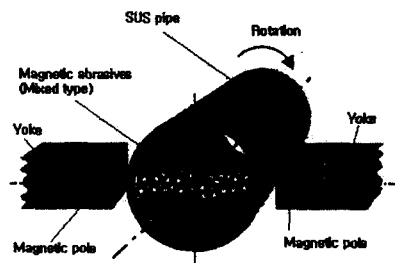


Fig. 1 Schematic of internal magnetic abrasive finishing

정자장 방식의 가공원리는 파이프를 회전시키면 자성입자는 접선연마저항을 받아 파이프와 함께 회전하게 되지만 자극 부근의 불균일한 자장분포에 의해 정지자극에 흡인되는 자력을 받아 비자성파이프 내면과의 사이에서 상대운동이 발생되어 내면을 연마가공하는 것이다..

### 3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 내면 자기연마장치로서는 소형선반(1.1kW)을 이용하였으며, 선반양복대에 영구자석으로 구성된 자장발생요크(Yoke)를 Fig. 2와 같이 설치하여 파이프내면 연마실험을 하였다. 자극으로는 자력의 누속을 최소화하고, 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B 영구자석을 사용하였다. 실험은 먼저 파이프를 선반척에 고정하고, 파이프 내면에 철분과 자성입자를 일정 비율로 단순 혼합한 자성입자를 투입하여 파이프를 회전시켜 연마 실험을 행하였다. Fig. 2에 본 실험의 실험장치를, Table 1에 본 실험의 실험조건을 각각 나타내었다.

### 4. 실험결과 및 검토

#### 4.1 혼합된 입자 공급량의 선정

본 절에서는 스테인레스파이프의 3가지 직경을 선택하여 철분과 자성입자를 중량비 4:1로 단순혼합하여 직경에 따른 적정 공급량을 선정하기 위한 실험을 하였으며, 가공조건은 Table 1과 같으며, 자극은 N-S 흡인자장으로 설치하였다.

Fig. 3은 파이프 직경 및 자성입자의 공급량에 따른 연마량을 살펴본 결과로써 실험은 입자 공급량을 2g씩 증가시키면서 연마량을 mg단위로 측정하였다.

Fig. 3에서 자성입자 공급량에 따른 연마량의 경향을 살펴보면 자성입자의 공급량이 점차 증가함에 따라 연마량이 점차 증가하다가 어느 시점에 도달하면 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 파이프의 직경 변화에 따라서 모두 동일한 경향을 나타내었으며, 본 실험에서는 연마량이 최고로 도달된 경우를 적정 공급량으로 규정하였다. 이러한 적정 공급량을 각각의 파이프 직경 변화에 따라 살펴보면, 직경  $\phi$  23 mm 경우는 입자공급량 8g 정도에서, 직경  $\phi$  36 mm의 경우는 입자공급량이 15g 정도에서 그리고 직경  $\phi$  48 mm의 경우는 입자공급량이 21g 정도에서 연마량이 가장 크다는 것을 알 수 있었다. Fig. 3에서 직경  $\phi$  36 mm에 비해 직경  $\phi$  48 mm의 연마량이 오히려 적은 이유는 자력의 세기와 관련이 있는 것으로 사료되며, 즉 파이프의 직경이 커질수록 입자의 보지력이 떨어져 연마압력이 저하하기 때문으로 생각된다.

Table 1 Experimental condition

Workpiece (mm)	SUS 304 stainless steel pipe D: $\phi$ 23, $\phi$ 36, $\phi$ 48 L:100 t : 1
Mixed Type magnetic abrasives	Iron particles 80 wt% (mean dia. : 330 $\mu$ m) WA magnetic abrasives 20 wt% (mean dia.: 80 $\mu$ m)
Pole	Fe-Nd-B permanent magnetic 18 $\times$ 18 $\times$ 20 mm
Machining fluid	Straight oil type 5 wt%
Magnetic flux Density	N-S : 0.45T, N-N : 0.35T
Finishing speed	1.7 m/s
Pole arrangement	N-S 180 $^{\circ}$ , N-N 180 $^{\circ}$
Finishing time	1~15 min.
Finishing Gap	1 mm

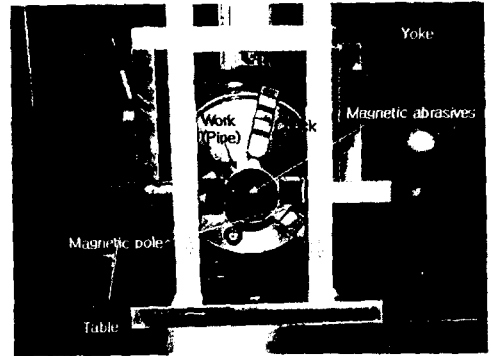


Fig.2 Experimental set-up

이와 같은 현상을 규명하기 위하여 입자의 공급량 변화에 따른 입자거동을 살펴보았다. Fig. 4는 입자의 공급량(S.Q.)이 적은 경우(6g)와 적정한 경우(15g) 그리고 과다한 경우(21g)에 있어서 파이프의 정지상태와 회전 상태에서 입자의 거동을 살펴 본 사진이다. 파이프는  $\phi$  36 mm를 사용하였다.

Fig. 4에서 입자의 공급량이 6g인 경우는 파이프의 직경에 비해 입자의 공급량이 적기 때문에 입자의 배열 띠(abrasives bridge)가 약하게 되고, 따라서 가공시 입자들의 원활한 유동이 일어나지 않았다. 그러나 입자의 공급량이 15g인 경우는 입자의 배열 띠가 정지시 매우 튼튼하게 보이고, 가공시 입자 배열 띠가 8자형태로 원활하게 유동됨을 알 수 있다. 입자의 공급량이 21g으로 증가하게 되면 정지시에는 입

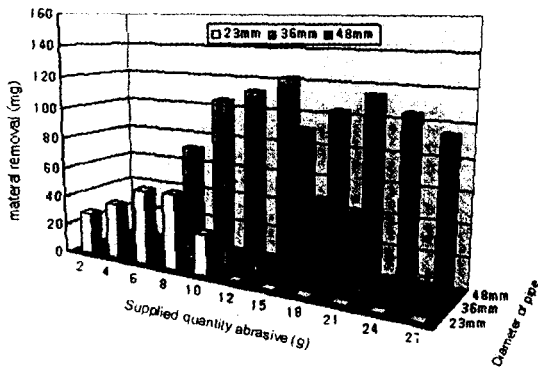


Fig.3 The material removal quantity to the supplying quantity of magnetic abrasives and the diameter of pipe

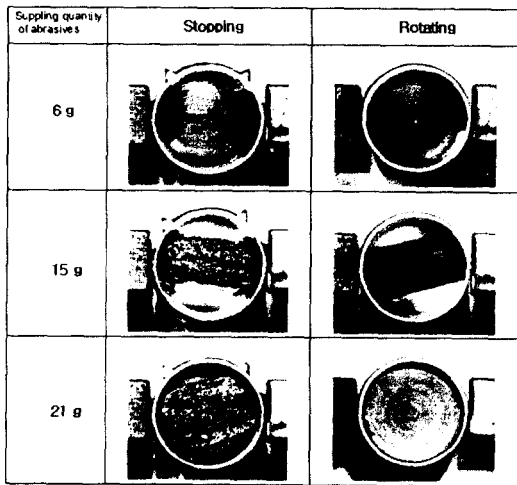


Fig.4 The moving shapes of magnetic abrasive (Diameter pipe:  $\phi$ 36 mm)

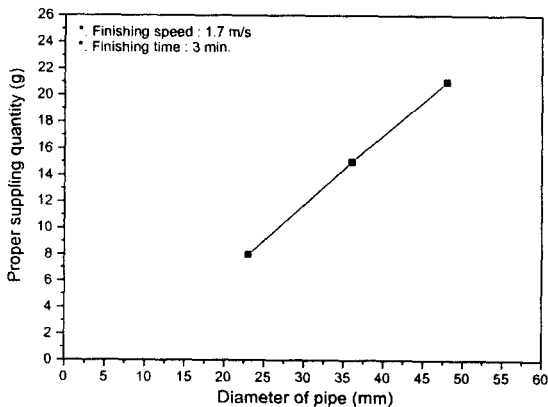


Fig.5 A proper supplying quantity versus the diameter of pipe

자의 배열때가 매우 두꺼워 지지만 가공시에는 과도한 입자량으로 인하여 파이프 내면에 입자가 꼭차면서 파이프와 같이 회전을 하는 형태가 된다. 따라서 Fig. 3과 Fig. 4의 결과로 볼 때 파이프 직경에 따라 적절한 입자의 공급량의 선택이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 파이프 각 직경에 대한 적정 공급량을 살펴 본 결과이다. Fig. 5에서 파이프 직경이 증가할수록 적정공급량은 거의 선형적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 흡인자장과 반발자장의 영향

Fig. 6은 흡인자장(자극배열:N-S)과 반발자장(자극배열:N-N)에 따라 파이프 정지시와 회전시 자성입자들의 거동을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 흡인자장과 반발자장의 차이에 따른 입자들의 분포를 살펴보면 흡인자장의 경우는 파이프내의 입자가 자력선의 분포에 따라 배열되면서 입자의 배열 띠를 형성함에 반해 반발자장의 경우는 입자들이 파이프 내벽에서 양편으로 폭넓게 퍼져 있음을 알 수 있다. 특히 가공시 흡인자장의 경우는 입자들의 거동이 입자들의 배열 띠가 원활히 회전하면서 가공됨에 비해 반발자장의 경우는 입자들이 파이프 회전과 동일하게 회전하는 유동현상을 나타내었다.

Fig. 7은 흡인자장과 반발자장의 가공성능을 서로 비교 검토하기 위하여 파이프의 직경변화에 따른 연마량 측정된 결과이다. Fig. 7의 결과에서 연마량은 반발자장의 경우가 흡인자장의 경우보다 더 크게 나타났다. 이것은 Fig. 6에서 살펴본것듯이 반발자장의 경우가 흡인자장보다 입자의 분포가 훨씬 넓게 퍼져있기 때문으로 사료된다.

#### 4.3 연마시간에 따른 표면거칠기의 변화

Fig. 8은 연마시간에 따른 표면거칠기의 변화를 살펴본 결과이다. Fig. 8에서 표면거칠기는 연마시간이 약 6분 정도까지는 급격히 감소하다가 그 이후부터는 거의 미소한 차이를 나타내었다. 따라서 가공효율을 고려해 볼 때 본 실험의 범위 내에서 가공시간은 약 6분 정도가 적절하다고 할 수 있다.

Fig. 9는 비자성 파이프의 자기연마 성능을 살펴보기 위하여 직경 23 mm, 길이 50 mm의 스테인레스 파이프를 약 6분간 가공한 후 가공전과 가공후의 표면사진을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 가공후 파이프 내면의 표면거칠기는 Ra 0.1 $\mu$ m, Rmax 0.7 $\mu$ m로 가공전의 표면거칠기인 Ra 0.6 $\mu$ m, Rmax 3.2 $\mu$ m에 비해 매우 낮은 값을 나타냈으며, 가공면 또한 매우 우수하였다. 따라서 이러한 결과로부터 자기연마법에 의한 비자성파이프 내면의 정밀연마 가능성이 확인되었다.

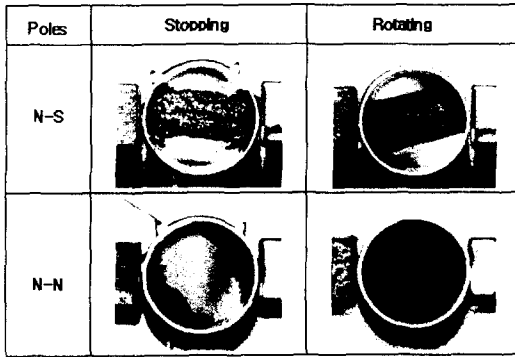


Fig.6 The moving shapes of magnetic abrasive according to magnetic poles (Diameter pipe:  $\phi$  36mm, S. Q.: 15g )

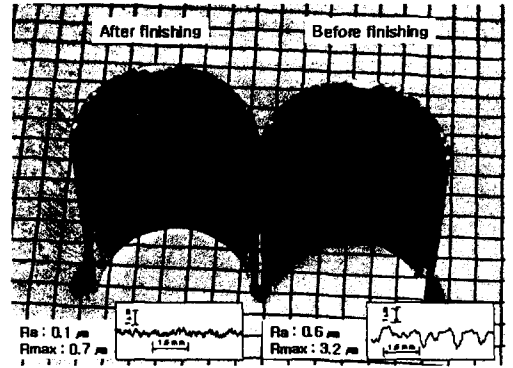


Fig.9 Photograph of inner surface of pipes before and after finishing (Pipe length: 50mm, dia.: 23mm, finishing time: 6min, S.Q.: 8g, pole arrangement : N-S)

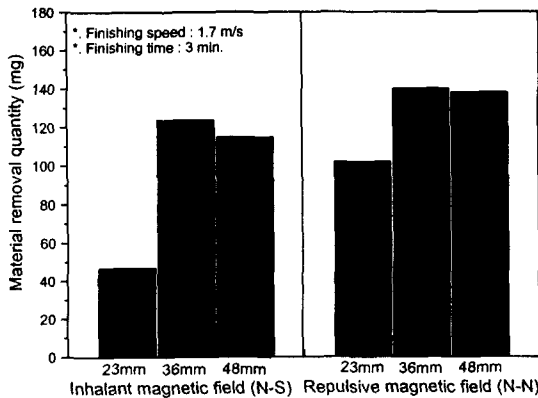


Fig.7 The material removal quantity according to magnetic poles arrangement (N-S and N-N)

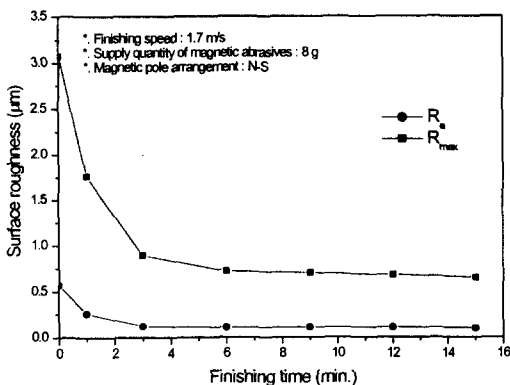


Fig.8 The surface roughness according to the finishing time (Diameter pipe :  $\phi$  23mm)

## 5. 결론

본 연구에서는 자기연마법을 이용한 비자성 파이프 내면의 연마특성을 파악하기 위해 정자장 방식으로 스테인레스 파이프의 내면연마를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 파이프의 연마량을 통하여 자성입자의 적정 공급량을 파악할 수 있었다.
- 2) 적정공급량은 파이프 직경의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.
- 3) 본 실험에서는 반발자장의 경우가 흡인자장의 경우에 비해 연마량이 더 크다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 연마시간이 증가할수록 표면거칠기는 가공초기(본 실험에서는 6분까지)에 급격히 감소하다가 이후로는 거의 미소하게 감소하는 경향을 나타내었다.
- 5) 영구자석을 이용한 간단한 자기연마 장치를 이용하여 파이프 내면의 정밀연마가 가능함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- 1) 進村武南, 渡辺將人, 朴源圭, “超を超えた超の世界”, 機械技術, 1998. 4. 第 46卷 第 4號. pp. 72 ~ 75.
- 2) ユ.エム.パロン, “製品および切削工具の磁氣.砥立加工と磁氣處理”, 日ソ通信社, 1988
- 3) Takeo Shinmura, Hitomi Yamaguchi, “Study on a New Internal Finishing Process by the Application of Magnetic Abrasive Machining”, JSME, Vol38, No4, 1995, pp. 798 ~ 804