

슬러리순환 자기연마법에 의한 파이프 내면의 연마특성

노태우*, 박원규, 여우석(금오공대원), 서영일((주)공간코리아),
최 환, 이종찬(금오공대 기계공학부)

The Internal Finishing Characteristics of Pipe Polished by Slurry Circulation Magnetic Abrasive Machining

T. W. Rho, W. K. Park, W. S. You(Dept. of Eng. Sci. & Mech., KNUT), Y. I. Seo(KongkanKorea),
H. Choi, J. C. Lee(School 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, a slurry circulation system was designed and manufactured. Its finishing characteristics was experimentally investigated by various effective factors such as dry, water flow, oil flow with a slurry. From the experimental results, it was found that the material removal and surface roughness were good in oil flow with slurry. The slurry circulation system is effective on the internal finishing of non-ferromagnetic pipe(SUS304).

Key Words : Magnetic abrasive machining(자기연마), Internal finishing(내면연마), Slurry circulation(슬러리 순환), Water flow(물 유동), Oil flow(오일 유동), Material removal(연마량), Surface roughness(표면거칠기)

1. 서론

최근에 산업기술의 발달로 반도체나 정밀기기 등과 같은 첨단산업 및 바이오 산업에서의 초청정설비(Ultra clean Equipment)의 중요성이 급진하고 있다. 이러한 초청정설비의 중요 요소 중의 하나는 크린 파이프의 제조기술이다.

보통 청정설비에 사용되는 파이프는 고순도의 가스나 초순수 물질을 이송하기 때문에 이송시 오염을 극소로 하기 위해서는 파이프 내면의 표면정도가 나노미터 스케일이 필요하다.

현재 이러한 크린파이프의 내면연마는 보통 전해연마법에 의해 수행되고 있으나 전해연마의 경우는 화학적 가공방법이기 때문에 가공전에 행하여지는 기계연마의 가공정도에 따라 가공효율이 크게 달라진다. 따라서 최근에는 초청정파이프의 내면정도를 더욱 향상시키기 위하여 파이프와 같이 긴 원통내면을 보다 쉽게 연마할 수 있는 자기연마법에 대한 연구들이 시도되고 있다.^{1) 2)}

본 논문에서는 슬러리순환 자기연마법을 이용하여 스테인레스 파이프의 내면을 연마하는데 있어 자성입자의 연마효율을 향상시키고자 유체유동이 파이프내면의 연마에 미치는 영향과 유체와 Slurry를 유동했을 때의 영향을 살펴보았다.

2. 슬러리순환 방식의 가공 메카니즘

본 가공 방식의 가공 메카니즘은 Fig. 1에서처럼 N-S 자극으로 구성된 자장 발생 장치를 파이프에 대하여 180°방향으로 대향 설치하면 이때 발생하는 불균일 집중자장에 따라 파이프 내부에 충전한 자성입자에 자력이 작용하여 이 자력에 의해 자성입자군은 연마압력(P)을 발생시킨다. 또한, 자성입자는 입자 상호의 자기흡인력 때문에 자성입자군은 자력선 방향을 따라 브리지(Bridge)를 이루며 정렬하여 Magnetic Pole의 회전에 의해 입자가 비산하려는 것을 방지하게 된다. Magnetic Pole이 회전하게 되면 연마입자는 파이프 내면과의 상대운동에 의한 마찰력이 작용한다. 이때 자력이 마찰력보다 크면 상대운동이 일어나 자력에 의한 파이프 내면의 표면 연마가 가능하게 된다.³⁾

기존의 자기연마법은 파이프내에서 연마입자가 파이프면을 연마한 칩이 배출되지 않으므로 계속 파이프내에 존재하여 가공효율을 저하시키는 현상이 있었다. 그래서 일정시간 가공후에는 연마입자와 파이프의 칩을 제거하기 위하여 파이프 내의 입자를 모두 제거하여야만 했다. 이 방법은 연마입자의 소비가 많고, 입자의 배출과 공급에 소요되는 시간이 많아서 가공효율을 저해하는 요인이었다.⁴⁾

그래서 이것을 개선하기 위한 방법이 슬러리순환 방법이다. 이 방법은 파이프 내에 유체를 흐르게 하여 자기연마 도중에 발생한 칩을 파이프 밖으로 배출하는 것이다. 그리고 유체 속에 Slurry를 첨가하여 Slurry가 파이프 연마에도 일부 참가하고, 연마도중 발생한 Chip을 배출하는 역할까지 하는 것이다. Fig. 1은 Slurry순환방식의 가공 메카니즘에 대한 개략도 이다.

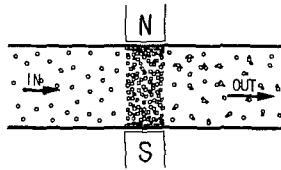


Fig. 1 Schematic view of internal magnetic abrasive finishing by slurry circulation
○ : Slurry □ : Magnetic Abrasives ▲ : Chip

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 장치는 본 실험실에서 자체 제작한 내면 자기연마전용장치로서 Magnetic Pole 회전장치, Magnetic Pole 이송장치, 액체탱크, 교반장치, 액체순환장치, Pipe 회전장치로 구성되어 있다. Fig. 2에 자기연마전용장치를 나타내었다.

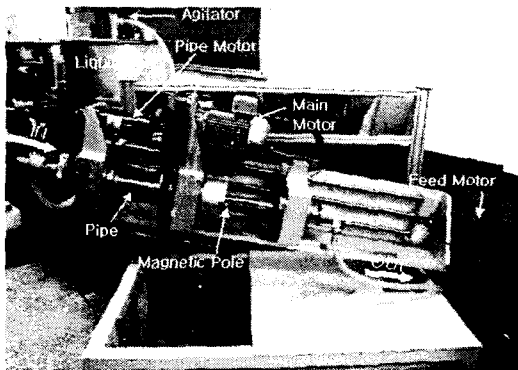


Fig. 2 Experimental set-up

실험은 Magnetic Pole 회전수와 연마입자 투입량에 따른 스테인레스 파이프의 가공량과 표면거칠기를 측정하였다. 이 Data를 기초로 하여 파이프내에 물을 흐르게 할 때와 백등유를 흐르게 할 때의 가공

량(OHAUS)과 표면거칠기(Surfest SV-600)를 측정하여 자기연마법에서의 유체작용에 대하여 검토하였다. 그리고 유체에 WA입자를 흐르게 하여(이하 Slurry) 연마현상을 살펴보았다. 자극으로는 자력의 누속을 최소화하고, 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B계의 강력한 사각 영구자석을 사용하였다.

Table 1 Experimental condition

Workpiece (mm)	SUS 304 stainless steel pipe D:φ23 L:400 t : 1	
Mixed type magnetic abrasives	Iron particles 80 wt% (mean dia. : 510μm) WA 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	
Pole revolution	500, 1000, 1500 rpm	
Pole arrangement	N-S 180°	
Finishing time	6 min.	
Finishing gap	1 mm	
Machine	Main motor	400 W
	Feed motor	60 W
	Pump	120 W
	Pipe motor	180 W
	Agitator	60 W
Slurry	W.A # 80 μm, 0.25 l	
Liquid	Lamp oil, Water 20 l	
Liquid speed	0.5 m/s	
Feed distance	80 mm	
Feed speed	5 mm/s	

실험방법은 먼저 파이프내에 일정량의 연마입자를 투입하여 척에 고정하고, Magnetic Pole을 회전하여 연마하였다. 유체를 유동 할 때는 액체 Liquid Tank를 위쪽에 설치하여, 위치에너지로 유체가 흐르게 하고, 아래쪽에 모인 액체는 펌프로 Liquid Tank까지 송수하여 유체를 순환하게 하였다. Slurry를 투입할 때는 Liquid Tank 상부에 설치된 교반기를 사용

하여, 액체와 Slurry를 일정한 비율(농도 : 1.25%)로 혼합하여 흐르게 하였다. Table 1에 본 실험의 실험 조건을 나타내었다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 Dry polishing

우선 연마입자와 Magnetic Pole의 회전수 변화에 따른 가공량과 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 3에 연마입자의 투입량과 Magnetic Pole 회전수에 따른 스테인레스 파이프의 표면거칠기(R_a : μm)를 나타내었다.

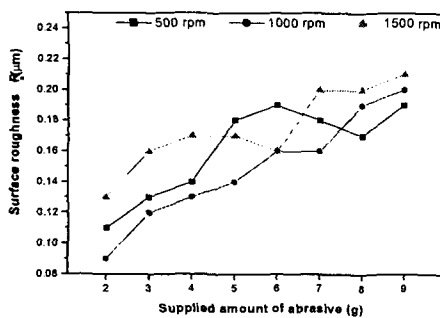


Fig. 3 The surface roughness versus the supplying quantity of magnetic abrasives

실험에서 연마입자의 투입량은 2~9g 이고, Magnetic Pole의 회전수는 500, 1000, 1500 rpm 이다. Fig. 3에서 대체로 1000rpm에서 R_a 값이 좋게 나왔으며, 연마입자의 투입량이 증가할수록 모든 회전수에서 표면거칠기는 거칠게 나왔다. 이런 현상은 R_{max} 값에서도 비슷하게 나타났다.

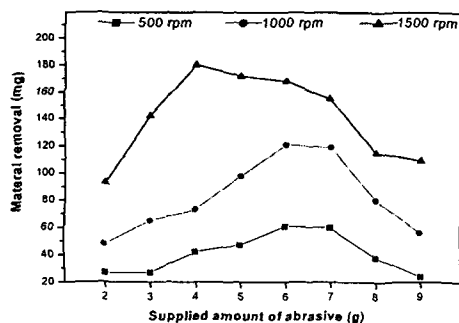


Fig. 4 The material removal quantity versus the supplying quantity of magnetic abrasives

Fig. 4에 연마입자의 투입량과 Magnetic Pole 회전수에 따른 스테인레스 파이프의 가공량(mg)을 나타내었다. 1500rpm에서의 가공량이 500rpm, 1000rpm보다 높지만 표면거칠기에서 나쁘게 나왔으므로 Slurry 연마에서는 1000rpm으로 고정했고, 투입량도 2~6g으로 실험하였다.

4.2 Water flow polishing

물의 유동에 의한 연마특성을 알기 위하여 파이프 내에 연마입자를 투입하고, 파이프 내에 물을 충전한 경우와 물이 유동할 경우, 그리고 물과 Slurry를 같이 유동 할 경우의 3가지 연마상태로 실험하였다.

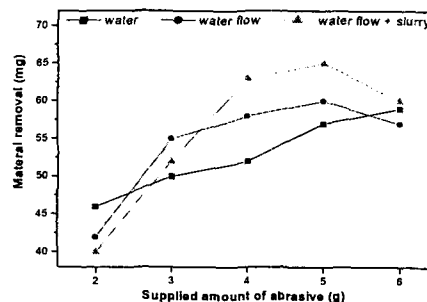


Fig. 5 The material removal quantity versus the supplying quantity of magnetic abrasives

Fig. 5는 물의 유동에 의한 결과로 Fig. 4의 건식에 비해 특별히 향상된 것은 없었으며, Slurry에 의한 가공량은 다른 조건보다 향상되었다.

Dry polishing에서는 6g일 때 가장 높은 연마 가공량을 나타냈는데 물의 유동에서는 연마입자 투입량 5g에서 높은 값을 나타내고, 6g에서는 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 파이프 내에 충전된 입자가 유수의 흐름을 방해하고, 입자의 연마력도 유수작용에 의해 약간의 저항을 받는 것으로 생각된다.

4.3 Oil flow polishing

Oil 유동에 의한 실험은 4.2절의 물 유동 실험에서 액체를 물에서 Oil로 바꾸고 나머지 조건은 동일하다. Fig. 6은 Oil flow에 의한 표면거칠기의 결과이다.

표면거칠기는 Dry polishing에 비해 조금 향상되었다. 이것은 유체의 흐름이 연마력을 저하시켜 연마량은 적지만 액체의 순환과 Slurry의 작용에 의해 연마 Chip의 원활한 배출과 Slurry의 일부가 연마작용을 하므로서 연마면을 향상시킨다고 생각된다. 그

리고 Oil이 물보다 표면거칠기가 좋게 나온 것은 Oil이 윤활작용과 불순물 제거력이 물보다 뛰어나기 때문이다.

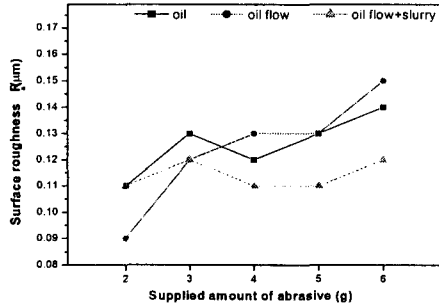
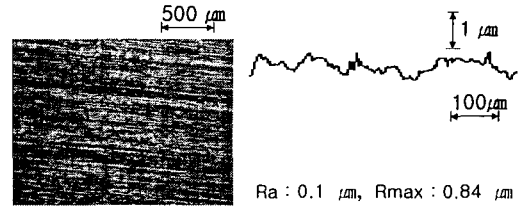
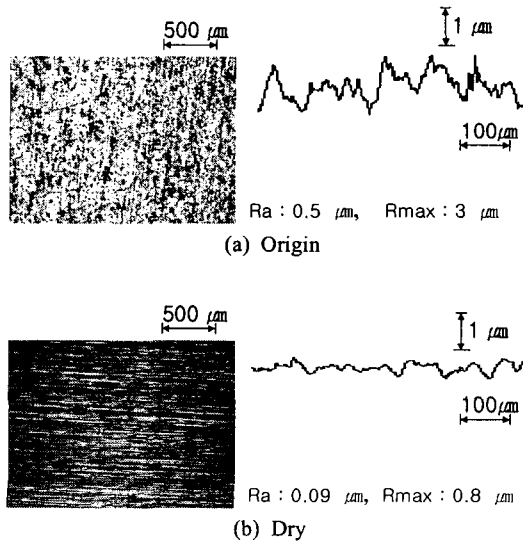


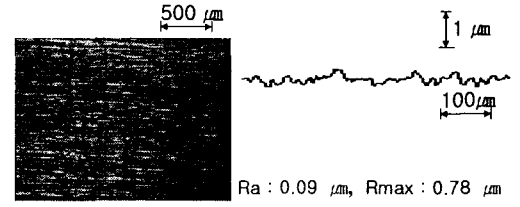
Fig. 6 The surface roughness ($R_a : \mu\text{m}$) versus the supplying quantity of magnetic abrasives

4.4 표면거칠기

Fig. 7은 각종 연마 조건중 대표적인 표면거칠기와 가공면을 관찰한 결과이다. Fig. 7 (a)는 연마전 공작물 표면의 거칠기와 사진이고, (b)는 건조한 경우, (c)는 물 유동과 Slurry의 경우, (d)는 Oil 유동과 Slurry의 경우 연마한 표면거칠기와 연마면 사진이다. 사진을 관찰하여 보면 자기연마에 의해 파이프 표면이 상당히 연마되었음을 알 수 있으며, 표면거칠기를 비교하여 보면, 파이프 표면이 연마되어 꽤 좋은 표면(약 $R_a : 90\text{nm}$)을 얻을 수 있었다. 그리고 Fig. 7 (c)와 (d)를 비교하면, Oil 유동의 경우가 물 유동의 경우보다 거칠기가 양호하였다.



(c) Water flow + Slurry



(d) Oil flow + Slurry

Fig. 7 Photo and roughness of polishing inner surface

5. 결론

본 연구에서는 비자성 파이프 내면연마를 위해 슬러리순환 방식의 자기연마법을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Dry의 경우 표면거칠기는 연마입자 투입량과 자속회전수가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었고, 연마량은 연마입자 투입량 6g에서 높은 값을 나타내었다.

2) 물 유동의 경우 연마입자 투입량이 증가할수록 연마량이 증가하였으며, 물 유동과 Slurry의 경우가 연마량이 많다.

3) Oil 유동의 경우 연마입자 투입량이 증가할수록 표면거칠기가 증가하였고, Oil 유동과 Slurry의 경우가 가장 양호하였다.

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, Vol. 4, 1998. pp. 72 ~ 75.
- 2) T. Shinmura, H. Yamaguchi, "Study on a New Internal Finishing Process by the Application of magnetic Abrasive Machining", JSME, Vol. 38, No4, 1995 pp.798~804"
- 3) 박원규외5, "자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(I)", 2000년 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.779~782
- 4) 박원규외5, "자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(III)", 2001년 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.915~918