

## 자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(Ⅲ)

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

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

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

#### 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, an abrasive circulation system was designed and manufactured. As a result, it was found that a fine inner surface abrasive of pipe was available by the use of this machining methods. The basic machining characteristics of pin-type magnetic tools were analyzed experimentally. In addition, the experimental results show that we can realize that pin-type magnetic tools have more machining efficiency than iron particles as magnetic tools.

**Key Words :** Magnetic abrasive machining(자기연마), Internal finishing(내면연마), Slurry circulation system(슬러리 순환방식), Non-ferromagnetic pipe(비자성 파이프), Pin-type magnetic tools(자성핀)

#### 1. 서론

특수 정밀가공 기술의 하나인 자기연마법에 의한 스테인레스파이프 내면의 정밀연마에 대한 연구가 최근 많이 시도되고 있다.<sup>1)</sup> 하지만 지금까지의 연구는 고정도 고능률 가공을 실현하기 위해서 외부자극에 의해 형성되는 자장분포를 연마가공에 최적조건으로 설정하고 자성공구에 작용하는 자력을 증대시키는 것을 기본개념으로 하였다. 그러나 그러한 가공 환경의 실현이 곤란한 공작물에 있어서는 가공능률이 현저히 저하한다는 문제점을 지니고 있다.

본 연구에서는 고가의 전용 자성입자를 사용하지 않고 시중에 시판되고 있는 일반 연마입자를 이용하여 가공중에 입자의 교환이나 절삭칩의 제거가 필요 없고 또한 입자의 교환과 신진대사 효과로 인하여 가공능률 향상을 기대 할 수 있는 실용성이 높은 연마 슬러리 순환방식(Slurry circulation system)의 파이프 내면 자기 연마장치와 자기 연마법을 개발하고자 한다.

먼저 자극회전 방식과 연마 슬러리 순환방식의 가공원리를 병용한 자기연마 가공장치를 개발하고 또한 자성공구로서는 가공효율을 높이기 위한 방안으로 일반적인 전해절분과 새롭게 제안하는 자성공구의 가공특성과 거동을 실험적으로 관찰하여 특성을 규명하고자 하였다.

#### 2. 연마 슬러리 순환방식의 가공 매커니즘

##### 2-1 자극회전 방식의 가공원리

자극 회전방식의 파이프 내면 자기 연마법의 개념도는 Fig. 1과 같다.<sup>2)</sup> 자극회전 방식의 가공원리는 파이프 내면에 공급한 자성입자의 외부자극에 의해 자기 흡인되어 연마압력을 발생한다. 이때 자극을 고속 회전시키면 파이프내면의 자성입자가 자극의 운동에 추종해서 회전하여 파이프와 자성입자사이에 상대운동이 발생하는데, 이 상대운동을 이용하면 파이프내면의 정밀연마가 가능하게 된다.

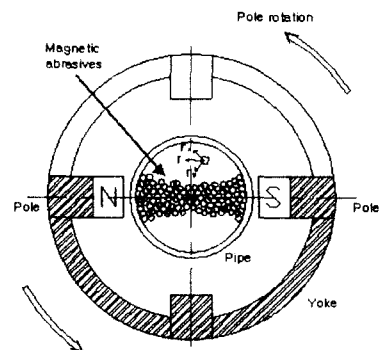


Fig. 1 Magnetic abrasive finishing using the pole rotation system

## 2-2 연마 슬러리 순환방식의 가공 원리

Fig. 2는 연마 슬러리 순환방식 파이프 내면자기 연마법의 개념도이다.<sup>3)</sup> 외부에 자극을 배치해서 불균일 자장분포 작용을 받는 파이프내부에 자성공구를 공급하면 자장 강도가 높은 방향으로 자력을 받아 자기 흡인되어 파이프내면에 연마압력이 발생한다. 다음에 외부자극을 고속회전 시키면 자성공구는 회전자극에 추종해서 회전하고 파이프내면과의 사이에 상대운동을 일으키게 된다. 이 상태에서 파이프에 적절한 각도의 경사를 주어 상부에서 입자와 가공액을 혼합한 연마 슬러리를 유입시키면 가공물을 통과하는 연마 슬러리중의 입자는 자성공구와 가공면 사이로 밀려 들어가 연마작용에 관여하게 된다. 연마 슬러리는 항상 순환되고 입자가 연속적으로 공급되기 때문에 긴파이프의 내면가공 중에도 입자의 교환이 필요 없고 입자의 교반과 신선대사효과가 있으며 더욱이 가공액에 의한 냉각 유효효과등 가공능률 향상이 기대할 수 있는 특징을 가지고 있다.

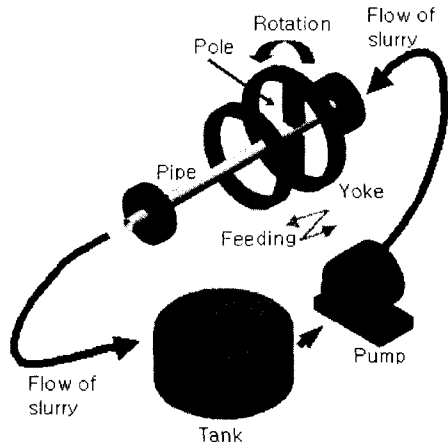


Fig. 2 Schematic view of slurry circulation system

## 2-3 자성공구

파이프의 직경이 작아지면 자극간 거리가 가까워지므로 자장강도는 증대되고 파이프내를 통과하는 자장은 불균일자장에서 균일화 되고 그 변화율은 감소한다. 그러므로 이러한 가공환경에 있어서는 자성공구는 회전자극에 의한 추종성이 저하하기 때문에 가공면과 자성공구의 상대운동도 잃게 되며 상시 공급되는 슬러리의 유입도 어려워 가공이 곤란하게 된다. 자성공구의 회전자극에 의한 추종성 저하는 내면자기 연마법에 있어서 중요한 과제인데 종래의 연구에서는 자성공구로서 전해질분을 공급한 경우 그 연마작용은 자극의 에지효과(edge effect)에 강하게 영향을 받는다. 그러므로 자성공구와 자장분포의 관련을 중시해서 자장 강도와 그 변화율이 낮은 가공환경에서도 높은 연마압력발생과 외부자극에 의한

추종성 확보를 목적으로 자성공구의 거동이나, 작용압력을 좌우하는 새로운 자성공구의 형상 및 재질에 관한 연구가 요구된다. 본 절에서는 이러한 문제를 해결하는 수단으로서 자기이방성 침상자성공구(이하 자성핀)를 새롭게 제안하여 실험적으로 가공특성을 검토하고자 한다.

## 3. 실험장치의 제작

Fig. 3은 연마 슬러리 순환방식의 자기연마 장치도이다. 가공장치는 기초실험 정도의 짧은 파이프로부터 실용단계의 가공이 가능하고 장치의 소형경량화 및 중력을 이용하여 슬러리를 순환시키기 위해 파이프에 여러 단계의 경사를 쉽게 줄 수 있는 구조로 설계 제작하였다.

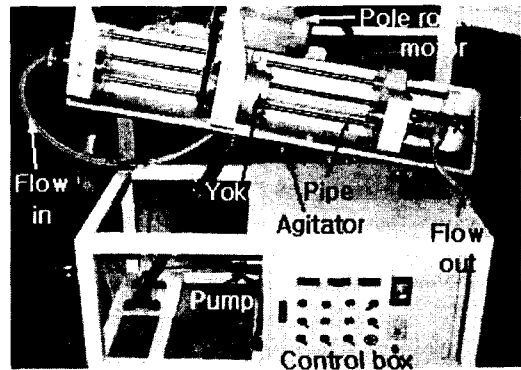


Fig. 3 Experimental setup

긴파이프의 경우는 파이프자체를 고속회전 시키는 것이 곤란하고 자기코일을 이용한 전자장이용법에 의한 가공이 현실적으로 어려우며, 변동자장이용법에 의한 가공도 전자코일의 대형화나 자극배치등의 복잡성·장치자체의 대형화등의 문제가 예상되므로 본 가공장치에서는 영구자석을 자극으로 이용한 자극회전방식의 가공원리를 채용하였다. 본 방식은 가공부가 되는 자기연마 유니트를 소형·경량화 하였으며, 가공시 가공부의 이동이 쉽게 되어 있다. Fig. 4는 가공 유니트부인데 자기연마 유니트는 자극과 자극회전용 모터로 구성되어 있으며 자극으로는 Nd-Fe-B 영구 자석을 이용하여 원주방향의 180° 간격으로 원형 요크에 설치하여 폐자기회로를 구성하였으며 필요에 따라 90° 간격으로 배치가 가능하게 설계하였다. 슬러리 공급장치는 슬러리가 저장탱크에서 충분히 교반되어 공급될 수 있도록 별도의 교반펌프를 설치하였다.

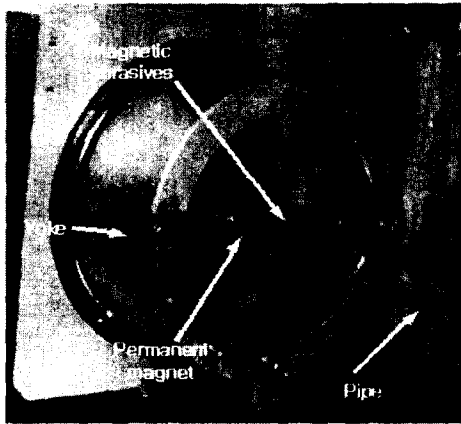


Fig. 4 Finishing part of setup

#### 4. 실험방법

실험에 이용된 자성공구는 종래에 일반적으로 사용되어 왔던 전해철분과 새롭게 제안하는 자기 이방성공구인 스테인레스 자성핀을 사용하였으며 실험 조건은 Table. 1과 같다. 연마제 슬러리는 경유베이스에 WA입자를 중량비 10wt%로 혼합하여 사용하였다. 자극으로는 Nd-Fe-B 영구 자석을 원주방향에 180° 간격으로 N-S대칭으로 배치하였다.

Table. 1 Experimental conditions

Workpiece (mm)	SUS304 stainless steel pipe ( $\phi 25.4$ t : 1)
Pole	Nd-Fe-B permanent magnetic (18×18×20 mm) Revolution : 1800min <sup>-1</sup> Arrangement : N-S 180° Clearance : 1 mm
Slurry	Based fluid : light oil Abrasive : WA#400 Concentration : 10wt%
Tool	Iron particles (510 $\mu$ m in mean dia.) SUS304 stainless steel pins ( $\phi 0.5 \times 5$ mm) : 5g
Finishing time	10 min.

자성공구 고유의 기초적인 가공특성을 명확히 하기 위하여 자극의 진동이나 중첩을 주지 않고 자극 위치를 고정된 상태에서 부분연마가공하여 평가하는 방법으로 실험하였고, 가공메커니즘을 고찰하기 위해 부분연마시에 있어 각각의 자성공구의 가공능률과 그 특성을 알아보았다.

## 5. 실험결과 및 검토

### 5-1 자성입자와 편형상 자성공구의 비교

Fig. 5는 전해 철분과 자성핀의 가공흔적을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전해철분을 공급한 경우 자성분포가 균일한 영구자석 중앙부는 거의 가공이 되지 않고, 자극양단만 가공되었다. 이것은 자극양단 부분의 전해철분만이 자극 예지효과에 따른 외부자극의 회전운동에 추종했기 때문이라 생각된다. 한편 자성핀을 공급한 경우 영구자석 폭부분은 거의 고르게 연마되었음을 확인할 수 있다.

본 실험결과 전해철분에 있어서 그 연마 특성은 자극 외부에 의해 형성된 자장 분포에 크게 의존하고 있고, 자극 배치에 따라 그 연마 특성은 커다란 차이가 있음을 알 수가 있다. 이 때문에 표면조도나 가공능률을 향상시키기 위해서는 외부자극의 형상이나 배치에 최적화가 필요불가결 하다는 것을 쉽게 추측할 수 있으며, 종래의 연구에 있어서 기본개념의 정당성이 증명됐다고 할 수 있다.

한편 자성핀은 그 자신이 자장분포형성에 영향을 주는 자장을 불균일화 하기 때문에 외부자극에 의해 형성된 균일한 자장에 있어서도 자극 예지효과등 자장 분포에 관계없이 가공을 실현할 수 있다. 본 가공에 있어서는 외부자극의 사소한 조건설정에서 구애받지 않는 가공을 실현할 수 있고 고정도·고능률가공을 기대할 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있듯이 자성핀을 사용한 경우 그 표면조도는 현격히 향상되었고 가공량도 전해철분과 비교해서 2배 이상 향상되었음을 알 수 있다. 가공중의 자성핀은 자력선의 보자력이 낮기 때문에 파이프내에서 활발하게 운동한다는 것을 확인할 수 있다. 본 가공법에 있어서 그 풍부한 운동량으로부터 자성핀과 파이프내면 사이에 말려 들어간 입자의 진동작용이나 입자날에 의한 미소가공흔적 이외에도 자성핀의 활발한 운동에 의한 타격력도 가공면의 생성기구에 영향을 주었을 가능성도 예상된다. 이러한 요인은 스테인레스 자성핀의 가공메커니즘 규명에 있어서 중요하다고 생각되며, 차후에 검토가 필요한 부분이다.



Fig. 5 Photos of inner surface of pipe after finishing

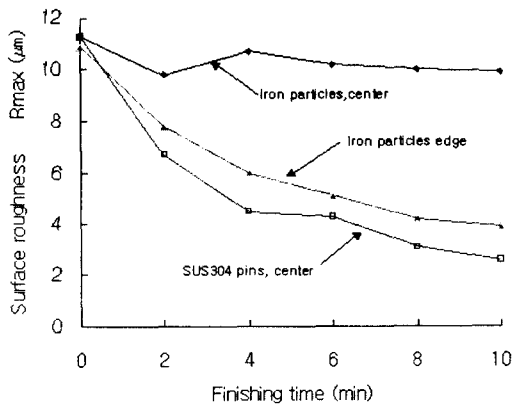


Fig. 6 The surface roughness according to the finishing time and magnetic abrasives

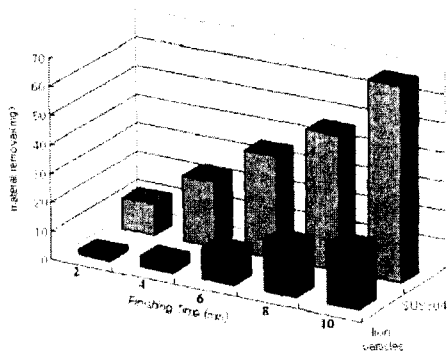


fig. 7 The material removal quantity according to the finishing time and magnetic abrasives

### 5-2 자성공구의 거동관찰

가공중의 자성공구는 고속으로 회전하기 때문에 자성공구의 거동을 관찰하는 것은 곤란하다. 그래서 모델 실험으로 투명 아크릴파이프에 자성공구를 공급하고 자극의 이송을 주지 않고 저속으로 회전시키면서 각 자성공구의 거동에 대해서 확인하였다.

Fig. 8에서 보는 것과 같이 전해철분의 경우는 중앙부에 과도하게 충전되어 있기 때문에 자극회전에 추종하는 운동은 볼 수가 없었다. 자극 에지부에서는 N-S자극간에 소량의 전해철분만이 자기흡인되어 실제로 가공에 관여하는 전해철분은 공급량의 절반 이하정도라 생각되며, 그 성능을 충분히 발휘하지 못했다. 자성핀의 경우는 자력선의 분포에 따라 적당한 간격으로 균등하게 정렬되어 있었고 핀단면이

파이프내면에 거의 수직으로 접하여 있음을 알 수 있었으며 파이프내면에 접촉하지 않고 N-S자극간에 존재하는 핀도 보였는데 이 핀들 또한 실제가공에서는 자극 회전이 고속으로 되면 원심력에 의해 파이프내벽에 눌러져 가공에 관여하는 것으로 생각된다.

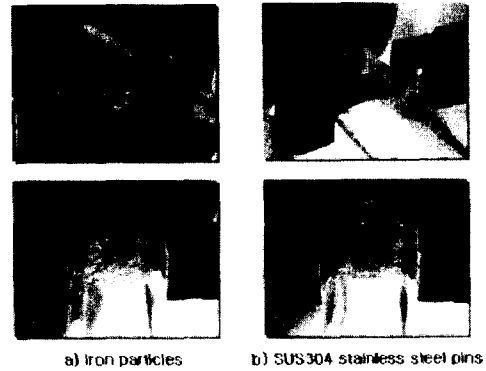


Fig. 8 Photos of tools behavior

## 6. 결론

본 연구에서 비자성 파이프 내면 연마를 위해 연마 슬러리 순환방식의 자기연마 장치를 개발하고 연마를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 연마 슬러리 순환방식의 실험 장치를 설계 제작하였고 본 가공법으로 파이프 내면의 정밀연마가 가능하다는 것을 실험적으로 확인하였다.
- 2) 핀형상 자성공구의 기본적인 가공특성을 실험적으로 규명하였다.
- 3) 본 가공법에서의 자성공구로는 전해철분보다 핀형상 자성공구가 가공능률이 높다는 것을 알았다.

## 참고문헌

- 1) 박원규외5, "자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(II)" 2001년 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, PP.960~963
- 2) H, Yamaguchi T. Shinmura, T. Kaneko: Development of a New internal Finishing process Applying Magnetic Abrasive Finishing by use of pole rotation system, Int.J.JSPE, vol 30, No4, 1996. pp.317
- 3) 進村武男, 渡辺將人: 磁氣研磨による内面の平滑加工に関する研究. 1997年 精密工學會 春季大會 論文集. pp.201~202