

자기연마를 이용한 미세파이프 내면가공

노태우*(금오공대 기계설계), 박원규(경기공업대), 서영일((주)공간코리아),
최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부)

The Internal Finishing of Fine-Pipe Polished by using Magnetic Abrasive Machining.

T. W. Rho(Dept. of Eng. Sci. & Mech., KNUT), W. K. Park(KINST), 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, another method of magnetic abrasive machining in which the N and S magnetic poles are feed and a workpiece is rotated only is tried in a fine-pipe, and its finishing characteristics is experimently investigated by various effective factors such as feeding amplitude. From the experimental results, it is found that the feed effects of magnetic poles on the finishing characteristics are large in internal finishing.

Key Words : Magnetic abrasive machining(자기연마), Internal finishing(내면연마), Feed magnetic pole(이송 자극), Fine-pipe(미세 파이프), Magnetic abrasives(자성입자)

1. 서론

반도체나 정밀기기 등과 같은 첨단산업 및 바이오 환경산업 등에서 초정밀설비가 절실히 요구되고 있다. 따라서 그중 중요한 요소 중의 하나인 크린파이프 제조기술의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 파이프 내면의 정밀도를 더욱 향상시키는데 매우 효율적인 특수 가공방법중의 하나인 자기연마 원리¹⁾를 이용한 가공기술에 대한 연구들이 시도되고 있다.

현재까지의 연구로는 비자성 파이프(ϕ 20mm 이상) 내면의 연마특성과 연마효율을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 미세파이프의 초정밀 연마에 대한 연구는 미진한 실정이다.

본 논문은 미세파이프 내면의 초정밀 연마 가능성을 확인하기 위해 전편²⁾,³⁾에 이어 연구한 것이다. 본 연구에서는 자기연마법을 이용하여 미세파이프 내면을 연마하기 위하여 영구자석을 이용한 간단한 자기연마장치를 제작하였다. 실험은 자기연마장치에 이송장치를 부착하여 자장 발생 요크를 파이프 길이 방향으로 좌우이송 시키면서 미세파이프의 회전수와 연마입자 혼합비 조건변화에 따른 표면정밀도와 연마특성의 변화를 살펴보았다.

2. 미세파이프의 연마 메카니즘

본 가공 방식의 미세파이프 연마 메카니즘은 N-S 자극으로 구성된 자장 발생 장치를 파이프에 대하여 180° 방향으로 설치하면 이때 발생하는 불균일 집중 자장에 따라 파이프 내부에 충전한 자성입자에 자력이 작용하여 이 자력에 의해 자성입자군은 연마압력을 발생시킨다. 또한, 자성입자는 입자 상호의 자기흡인력 때문에 자성입자군은 자력선 방향을 따라 브리지(Bridge)를 이루며 공작물 회전으로 인해 입자가 비산하려는 것을 방지하게 된다. 파이프가 회전하게 되면 파이프 내면과의 상대운동에 의한 마찰력이 작용한다. 이때 자력이 마찰력보다 크면 상대운동이 일어나 자력에 의한 파이프 내면의 표면 연마가 가능하게 된다.

예비 실험 결과 지름이 약 20mm 이상에서는 입자의 유동이 원활하여 연마가공이 가능하지만, 내경 5mm 이하의 미세파이프에서는 입자의 유동이 원활하지 못하여, 내면연마에 적합한 브리지를 형성하지 못하였다. 그래서 본 실험에서는 자기연마 장치에 이송장치를 부착하여 파이프의 회전과 파이프 길이 방향의 좌우이송을 병행하였다. 그 결과 파이프 회전에 의해 내면에 있는 자성입자와 파이프의 상대운

동에 의한 연마와 함께 파이프 길이방향의 이송에 의한 연마도 병행하므로 연마의 효과가 증가한다. Fig. 1은 회전운동과 좌우이송에 의한 미세파이프 가공 메카니즘에 대한 개략도이다.

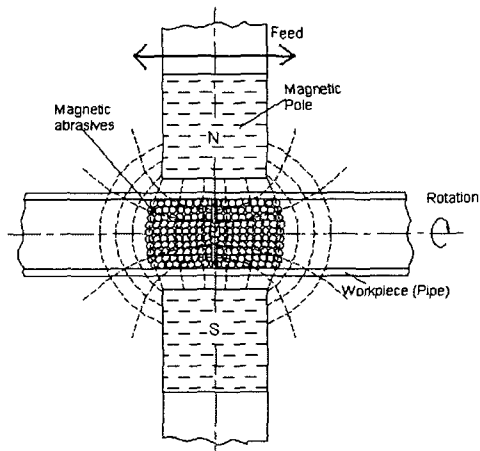


Fig. 1 Schematic view of internal magnetic abrasive finishing with feed

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 내면 자기연마장치로서는 소형선반(1.1kW)을 이용하였으며, 선반왕복대에 영구자석으로 구성된 자장발생장치(Yoke)를 Fig. 2와 같이 설치하여 파이프의 내면 연마실험을 하였다. 자극으로는 자극의 누수를 최소화하고, 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B계의 사각 영구자석을 사용하였다.

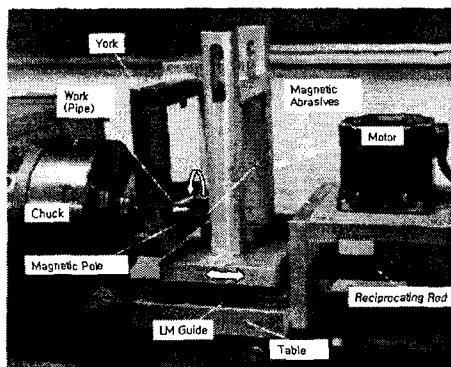


Fig. 2 Experimental set-up

자극에 이송을 주기 위한 방법으로는 Fig. 2에서와 같이 선반의 왕복대 위에 소형 이송장치를 구성하였다. 이송장치는 자장발생장치 유닛 하단부에

LM가이드를 부착하고, 후면에 모터와 캠장치를 연결하였으며, 자장발생장치의 좌우 이송량은 캠의 편심양 변화에 따라 이송폭을 변화시킬 수 있도록 제작하였다.

실험방법은 먼저 전해철분과 자성입자를 일정 비율로 혼합한 후 연마입자를 전자저울로 1mg까지 계량하여 파이프에 투입하고, 이 파이프를 소형 선반척에 고정하였다. 실험조건에 따라 파이프회전수와 자장발생장치의 이송거리를 변화시키면서 실험하였다. Fig. 2는 본 실험의 실험장치이고, Table 1은 본 실험의 실험조건이다.

Table 1 Experimental condition

Machine	Lathe 1.1kW
Workpiece	Brass pipe d: ϕ 5 L:120 t : 1
Mixed Type magnetic abrasives	Iron particles (mean dia. : $510\mu\text{m}$) WA magnetic abrasives (mean dia.: $80\mu\text{m}$)
Magnetic pole	Fe-Nd-B permanent magnetic $18 \times 18 \times 20$ mm
Machining fluid	Straight oil type
Magnetic flux density	N-S : 0.45T
RPM	360, 640, 900, 1400
Pole arrangement	N-S 180°
Finishing time	3, 10 min.
Finishing Gap	1 mm
Frequency	1 Hz
Feed Distance	10, 25, 40 mm
Feed Speed	20, 50, 80 mm/s

4. 실험결과 및 검토

4.1 입자량 변화

자기연마법(Magnetic abrasive machining)을 이용하여 비자성체 미세파이프의 내면을 연마하는 방법은 Fig. 1에서 알 수 있듯이 자성입자와 철분을 단순 혼합한 연마제를 파이프 내면에 충전하고, 파이프 외벽에 자극(N-S)을 두어 연마제에 자력을 부여하여 파이프 내부에 연마압력을 발생시켜 브리지를 형성한다. 다음으로 파이프를 회전시켜 상대 운동을

일으킴으로써 연마가 이루어지게 하는 연마 메카니즘으로 단순 혼합된 연마입자의 투입량에 따른 미세 파이프 내면의 표면거칠기가 어느 정도 변화하는가를 실험적으로 검토하였다.

Fig. 3은 내경 5mm의 황동 파이프에 연마제의 투입량에 따른 파이프 내면의 표면거칠기이다. Fig. 3에서의 실험조건은 파이프 회전수 900rpm이며, 전해철분과 자성입자의 혼합비는 4 : 1로 하였으며, 요크의 좌우이송은 없는 상태에서 3분동안 연마하였다.

이 결과에서 알 수 있듯이 연마제를 60~200mg 까지 투입했을 때는 원활한 연마가 이루어졌으나, 연마제 투입량이 300mg을 초과하게 되면 파이프내에서의 입자 유동이 원활하지 못하여 연마의 효과가 미미하였다. 이것은 파이프의 내경이 작기 때문에 적정량보다 조금이라도 많은 양이 투입되면 연마입자가 파이프 매움 현상이 일어나 연마입자가 파이프와 같이 회전하게 되어 연마가 이루어지지 않는다. 이것으로 볼 때 미세파이프에서의 연마입자 투입량은 큰직경의 파이프에 비해 아주 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있다.

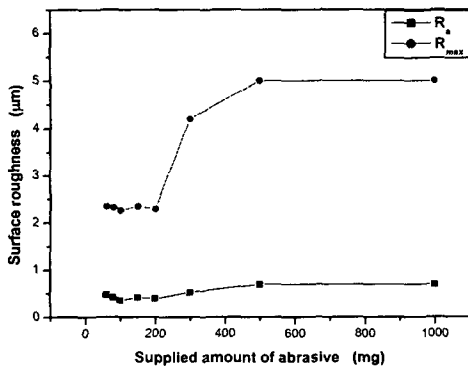


Fig. 3 The surface roughness according to abrasive input quantity

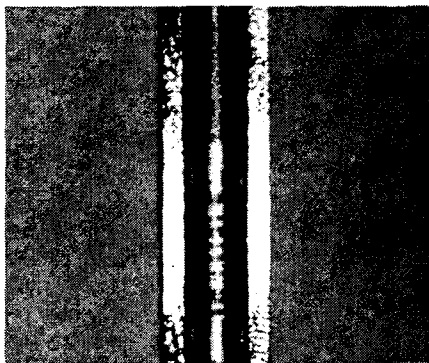


Fig. 4 Polishing at 300mg

Fig. 4는 연마제 투입량이 300mg일때 가공한 결과로, 연마면이 파이프 원주방향으로 띠를 형성하면서 연마된 연마흔적이다. 이것으로 볼 때 미세파이프에서의 내면 연마는 파이프 회전에 따라 발생하는 입자와 파이프 내면의 상대운동에 의한 가공이 원활하지 못하다는 것을 알 수 있다.

4.2 연마입자 혼합비 변화

미세파이프의 내면연마에 가능한 투입량은 60~200mg임을 앞의 실험을 통해 알게 되었고, 다음으로 연마입자 혼합비가 변화함에 따라 파이프 내면의 표면거칠기에 어떠한 영향을 주는가를 실험하였다.

Fig. 5는 연마입자 혼합비율과 투입량 변화에 따른 파이프 내면의 표면거칠기 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 전해철분과 자성입자의 비율이 4 : 1일 때가 연마효율이 좋아 표면 거칠기가 가장 좋았다. 또한 자성입자만으로 연마했을 때는 자화력이 약해 자력에 의한 연마압력이 약하여 정상적인 Bridge형상이 형성되지 못하였고, 이로 인해 연마효율도 저하되어 표면 거칠기의 값이 높았다. 전해철분과 연마입자의 비율이 1 : 1일 경우는 연마효과가 연마입자만을 사용할 경우보다는 향상되었으나, 전해철분과 자성입자의 비율이 4 : 1일 경우보다는 낮았다.

Fig. 5의 그래프에는 표기되지 않았지만 전해철분과 자성입자의 비율이 6 : 1의 경우에는 연마입자의 부족현상으로 인해 거의 연마되지 않았다. 이것으로 볼 때 자기연마법에서의 혼합비는 전해철분과 자성입자의 비율이 4 : 1일 때가 가장 적합하다는 것을 알 수 있다.

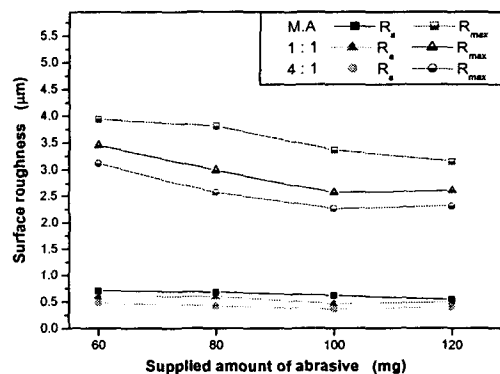


Fig. 5 A surface roughness versus the supplied amount of abrasive (M.A.=Magnetic Abrasive)

4.3 Yoke Feed 변화

미세파이프에서는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 파이프내에서의 입자의 유동이 제한되므로 파이프내면의 연마면이 원주방향으로 띠처럼 형성되는데, 이것은

유동이 원활하지 않는 부분에서는 연마가 되지 않았다. 따라서 연마장치에 파이프 길이방향으로 이송할 수 있는 장치를 만들어 설치했다. 요크의 무게와 직선왕복 운동의 관성력을 고려하여 좌우이송은 1Hz로 고정했고, 단지 이송거리만 조절하였다.

Fig. 6은 자장발생장치(Yoke)를 파이프 길이방향으로 좌우이송시키면서, 회전수 변화에 따른 파이프 내면의 표면거칠기의 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 이송거리가 10mm이고, 회전수를 900rpm으로 연마할 경우의 연마효율이 가장 좋게 나타났다.

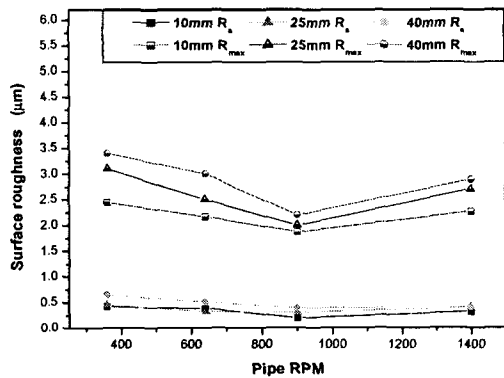


Fig. 6 A surface roughness according to pipe rpm and feed distance

Fig. 7은 미세파이프 내면연마에서 좌우이송량 변화가 표면 거칠기에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 파이프는 고정하고 Yoke만 좌우이송 하면서 10분간 연마한 결과이다. 좌우이송량이 약 30mm 미만까지는 거의 일정한 표면조도를 나타내지만, 30mm를 초과하면 연마효율이 떨어지는 것을 알 수 있다.

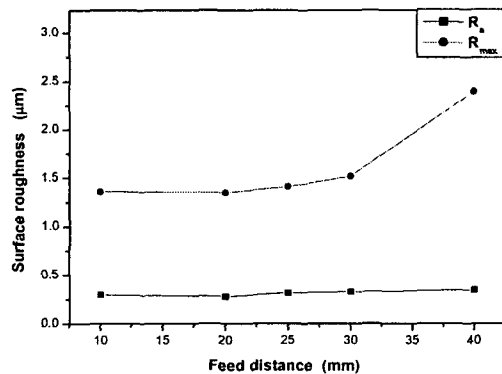


Fig. 7 A surface roughness versus the feed distance

Fig. 8은 자기연마법을 이용하여 파이프의 회전과 자기연마장치의 좌우이송을 이용하여 미세파이프를 연마한 부분과 연마하기 전의 소재 상태를 사진으로 나타낸 것이다. 이 사진에서 가공전의 표면 조도는 R_a 0.7µm, R_{max} 5µm로 측정되었으며, 연마 후의 표면조도는 R_a 0.15µm, R_{max} 1.72µm로 측정되었다.

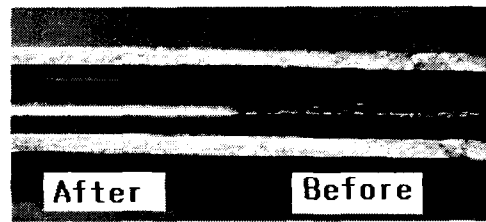


Fig. 8 The internal finishing in a fine-pipe
[Condition] Feed distant : 10mm, 900rpm, Finishing time 3min

5. 결론

본 연구에서는 황동 미세파이프 내면연마를 위해 파이프 회전뿐만 아니라 자장발생장치에 이송장치를 부착하여 좌우이송을 하면서 연마한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 간단한 자기연마장치를 이용하여, 파이프를 회전시키면서 Yoke를 좌우이송 하면, 미세파이프 내면에서도 자기연마가 가능하다는 것을 알았다.
- 2) 미세파이프에서는 파이프 회전에 의한 가공보다는 좌우이송에 의한 연마효과가 더 중요하다는 것을 알았다.
- 3) 내경 5mm인 황동 파이프 내면 정밀연마에서는 연마제 투입량 100mg, 회전수 900rpm, 좌우이송 10mm인 경우가 효율적인 연마조건이었다.

참고문헌

- 1) 코콤, 바론, “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
- 2) 박원규외5, “자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(I)”, 2000년 한국정밀공학회 추계 학술대회논문집, pp.779~782
- 3) 박원규외6, “자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(II)”, 2001년 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp.960~963