

## Ba-Ferrite계 자기연마재 거동이 연마특성에 미치는 영향

윤여권\* · 김희남\*\*

\*유한대학 기계설계과 · \*\*명지대학교 기계공학과

## The Effects of Ba-Ferrite Magnetic Abrasive Behavior on Polishing Characteristics

Yeo-Kwon Yun\* · Hee-Nam Kim\*\*

\*Dept. of Mechanical Design, Yuhan University

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Myongji University

## Abstract

In this paper deals with behavior of the magnetic abrasive using Ba-Ferrite on polishing characteristics in a new internal finishing of STS304 pipe applying magnetic abrasive polishing. The magnetic abrasive using Ba-Ferrite grain WA used to resin bond fabricated low temperature. And Ba-Ferrite of magnetic abrasive powder fabricated that Ba-Ferrite was crushed into 200 mesh. The previous research have made an experiment in the static state the movement of magnetic abrasive grain is nevertheless in the dynamic state. In this paper, We could have investigated into the changes of the movement of magnetic abrasive grain. In reference to this result, we could have made the experiment which is set under the condition of the magnetic flux density, polishing velocity according to the form of magnetic brush.

**Keywords :** Magnetic abrasive (자기연마재), behavior (거동), Magnetic flux density (자속밀도)

## 1. 서론

소비자의 요구에 대응하기 위해 산업이 고도화·다변화됨에 따라 제품에 사용되는 부품의 고정도가 요구되어지면서 기존에 공구와 가공물이 직접 접촉하면서 절삭하는 가공방법으로는 절삭력에 의한 변형과 마찰열로 인하여 고정도 및 고정정 가공을 실현하는데 많은 어려움이 생기게 되었다. 이러한 절삭가공법 중 연삭가공은 주로 가공물의 마무리에 이용되는 가공법으로서, 비교적 정밀하고 양호한 표면의 품질이 요구되어지는 부품에 사용되어왔다. 공구가 슛돌형태인 연삭가공은 공작물에 연삭력이 직접 가압되는 가공으로서 트러블(trouble)이 발생할 경우 슛돌의 파괴로 인한 산업재해가 발생할 수 있으며, 연삭열의 발생을 억제하기 위해 연삭유를 사용해야 함으로 인하여 산업위생상 고

청정용 소재의 고품위 표면을 얻기 위한 가공으로 어려움이 있다. 이러한 산업안전의 문제 해결과 함께 보다 더 우수한 표면의 품질을 얻기 위한 가공법중의 하나로 자기연마법이 대두되었다. 이러한 자기연마가공은 슛돌형태의 연삭을 비롯한 래핑, 슈퍼피니싱 등의 직접가압식 가공법을 벗어나서 보다 안전한 방법으로 우수한 표면의 품질을 얻기 위한 가공법중의 하나이다.

자기연마법은 자기력에 의해 자기연마재를 끌어당겨 가공물을 연마하는 방법으로서 가공물 표면의 청정유지와 고정밀도를 실현할 수 있다. 이러한 자기연마 기술에서 자기연마재는 가공의 주체로써 가공정밀도와 청정도를 좌우하는 핵심요소이다. 따라서 성공적인 자기연마가공을 위해서는 가공효율이 뛰어난 자기연마재의 개발이 선행되어야 함이 필수적이다.

† 교신저자: 윤여권, 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34 유한대학 기계설계과

TEL: 02-2610-0727, E-mail: yunyk@yuhan.ac.kr

2009년 9월 18일 접수; 2009년 12월 9일 수정본 접수; 2009년 12월 9일 게재확정

이러한 필요성에 의해 자기연마장치 및 연마재에 관한 많은 연구(1)~(11)가 이루어져 왔으며, 이들은 주로 자기력과 자극의 배치 등이 자기연마효율에 미치는 영향과 고정도 재료인 세라믹이나 초경합금 등을 연마하기 위한 다이아몬드, CBN 등을 이용하여 연마재를 제조하거나 산화철과 알루미늄을 화학반응으로 제조하는 방법에 관한 연구이다. 그러나 이들 연마재에 대한 상세한 구성성분 및 제조방법은 외부에 알려지지 않은 실정에서 국내에서 활용하기는 매우 어려운 형편이다. 따라서 국내에서도 고정정과 함께 고정도가 요구되는 산업 분야에 자기연마의 활용이 활성화되기 위한 노력으로 다양한 자기연마재의 개발(12)~(17)에 관한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 자기연마재는 국내·외에서 사용되는 반도체용 튜브, 식품 위생기기, 의료기기, 고순도 가스용기 등의 청정 산업분야 및 공압용 튜브 등의 제조분야에도 활용이 광범위하게 확대될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 Ba-Ferrite를 자성재료로 하여 WA를 연마재로 이용한 자기연마재를 사용하여 비자성체 재료인 STS304 파이프 내면에 대한 자기연마가공 실험을 하였다. 이러한 자기연마 공정에서 자기연마 입자의 거동은 가공효율을 비롯한 파이프의 표면거칠기 등의 연마특성에 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 Ba-Ferrite계 자기연마재에 작용하는 자력과 연마속도에 따라 변화되는 자기연마재의 동적 거동이 연마특성에 미치는 영향을 평가함으로써 보다 안전한 방법으로 우수한 표면을 얻기 위한 가공법을 찾는 데 목적이 있다.

## 2. 자기연마재 제조 및 실험

### 2.1 자기연마재 제조

본 실험에서 제조한 Ba-Ferrite 자기연마재에서 자성 재료로 사용된 Ba-Ferrite는 산화철( $Fe_2O_3$ )과 탄산바륨( $BaCO_3$ )을 기본원료로 하여  $1,200^\circ C$ 에서 소결한 후 200 mesh로 전통시킨 것을 사용하였다.

또한 연마입자로 사용된 WA 입자는 좋은 결합성을 지니고 있으며, 합금강, 고속도강 등과 같은 경한 재료의 연마에 적합하다. 기존에 고정용 숫돌의 결합제로 많이 사용되던 비트리파이드(vitrified)계 본드는 결합도를 비교적 광범위하게 조절할 수 있는 장점이 있는 반면, 약  $1,300^\circ C$ 의 고온에서 연마재가 산화되어 성분이 변화되는 것을 방지하기 위해  $N_2$  분위기를 조성해야 하는 문제로 인해 대량생산에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 본 실험에 사용된 Ba-Ferrite계 자기연마재의 제조에는 우수한 입자 매트릭스(matrix)를 형성할 수 있

으며 저온에서도 제조 가능한 지식용 액상수지를 결합제로 사용하였으며, 결합도와 기공의 적정성을 조절하기 위해 첨가비율을 변화시켰다. 자기연마재 조성비율은 Table 1과 같으며, 원료가 되는 각각의 첨가량은 무게비로 정량화 하였다.

Table 1과 같은 조성비율로 구성된 자기연마재의 혼합은 공업적인 대량생산을 위하여 단순혼합을 이용하였다. Ba-Ferrite와 WA가 혼합되는 첨가비율의 변화에 따라 자기연마재가 가지게 되는 특성의 변화를 고찰하기 위하여 Table 2와 같이 혼합하였다. 이와 같이 혼합된 자기연마재 원료를 일축나선형식으로 가압하여 성형된 연마재를  $185^\circ C$ 의 온도에서 2시간 동안 합성하였다. 이러한 저온합성은 산화방지를 위한  $N_2$  분위기 조성이 필요치 않아 대량생산에 적합하며, 이러한 합성공정을 거친 자기연마재는 분쇄기를 통과하여 소요되는 크기의 미립으로 제조된다. 이러한 미립형상의 자기연마재를 활용한 가공은 기존에 산화철 등을 이용한 습식 버핑(buffing)가공을 대신하여 안전하고 친환경적인 가공법으로 유용할 것으로 예상된다.

### 2.2 자기연마재 성분분석

자기연마재가 위와 같은 혼합비율로 제조되는 과정에서 합성공정의 영향과 결합제와의 화학반응 등이 자기연마재의 성분 및 구성비율에 미치는 영향을 분석하고 고찰하기 위하여 X-ray Diffraction (XRD)를 이용하여 성분 분석을 실시하였다. XRD의 조건은 15mA, 30kV의 상태에서  $4^\circ /min$ 의 scanning speed로 실시하였다.

Table 1 Compositions of magnetic abrasive

Magnetic material	Abrasive	Grain mesh	Resin (ml/g)
Ba-Ferrite ( $BaFe_{12}O_{19}$ )	WA	1,000	0.17
		4,000	0.23
		8,000	

Table 2. Compositions of the mixture rate

Type	Composition	Synthesis temperature	Synthesis time
A	Ba-Ferrite:WA=1:1	$185^\circ C$	120min
B	Ba-Ferrite:WA=1:2		
C	Ba-Ferrite:WA=1:4		

또한 Ba-Ferrite의 순도에 따른 화학반응의 발생여부를 조사하기 위하여 시약급으로 사용되는 미국의 A사에서 제조된 Ba-Ferrite와 WA를 1:4의 비율로 혼합하여 결합제 0.23ml/g을 사용하여 제조한 자기연마재의 XRD 성분 분석결과를 Fig. 1의 (a)에 나타내었으며, 국내에서 제조된 Ba-Ferrite를 사용하여 제조한 자기연마재의 성분 분석결과를 Fig. 1의 (b)에 나타내었다. Fig. 1의 (a)와 (b)에서 Ba-Ferrite와 WA외에 다른 성분을 나타내는 피크(peak)가 거의 나타나지 않음으로 보아 Ba-Ferrite의 제조사와 순도에 따른 결합제와의 합성으로 인한 화학반응의 영향은 발생하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 2는 국내산 Ba-Ferrite를 입도 1,000 mesh의 WA와 1:1의 비율로 혼합하여 결합제 0.23ml/g을 사용하여 제조한 자기연마재의 XRD 분석 결과를 보여준다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Ba-Ferrite와 WA외에 다른 성분을 나타내는 피크(peak)가 거의 나타나지 않았으므로 결합제와의 합성으로 인한 아무런 화학반응도 발생하지 않았음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 Ba-Ferrite:WA의 혼합비율이 1:1로서 WA의 혼합비율이 적어짐에 따라서 WA성분을 표시하는 피크가 작게 나타남을 알 수 있다.

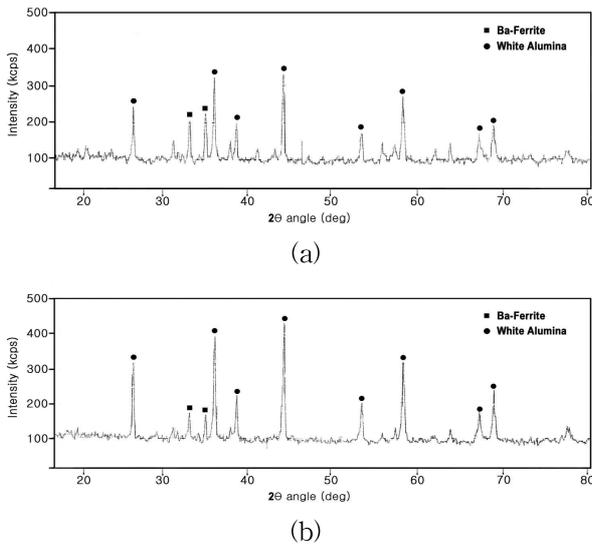


Fig. 1 XRD analysis pattern of magnetic abrasive(Type C)

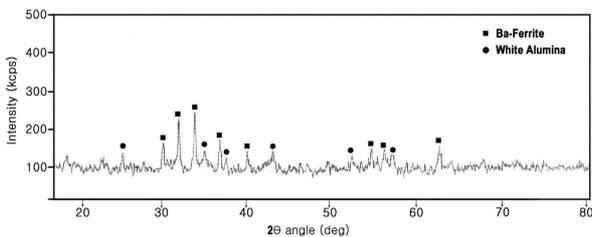


Fig. 2 XRD analysis pattern of magnetic abrasive(Type A)

### 2.3 자기연마 실험

본 실험에서 자기연마재에 자기력을 인가하기 위한 자기력 발생장치는 최대 자속밀도를 1.5Tesla까지 발생시킬 수 있는 고구배 전자석으로서 D마크네틱(주)에서 설계·제작하였다. 전자석에 의한 자기력 발생장치는 자기력의 조절이 용이하여 자기력의 크기를 다양하게 변화시키면서 연마재의 자기적 특성을 고찰할 수 있는 장점이 있다. 그리고 자극과 공작물 사이의 공극(air gap)을 자유롭게 조절하기 위해서 자극이 시편의 직각방향으로 직선운동이 가능한 구조로 이루어져 있다. 이러한 자기력 발생장치를 Fig. 3과 같이 범용선반(화천기계, WHL-380L)에 부착하여 자기연마 실험을 수행하였다.

Ba-Ferrite 자기연마재의 동적인 거동과 특이 현상을 살펴보기 위해 Table 3과 같은 조건으로 자기연마가공을 수행하였다. 본 실험에 사용된 비자성체 STS304 파이프의 치수는 내경 20mm, 두께 0.7mm, 길이는 200mm이며, 공극을 2mm로 설정하여 축 방향으로 자극을 이동하면서 자기연마 가공을 하였다.



Fig. 3 Photo. of experimental equipments for magnetic abrasive polishing

Table 3 Polishing Conditions

Abrasive material	Abrasive size (mesh)	Flux density (G)	Polishing speed (m/s)	Polishing time (min)
WA	1,000	1,500	0.42	1
	4,000	3,000	0.73	2
	8,000	6,000	1.46	5

### 3. 자기연마재의 동적거동

#### 3.1 자기연마 기구

Fig. 3과 같은 자기연마 기구에 전원을 공급하면 자극봉에 감겨진 코일에 전원을 인가하여 형성된 자기력은 자기연마재를 끌어당겨 자기 브러시를 형성하게 된다.

Fig. 4에 이러한 자기연마기구를 그림으로 나타내었다. 연마기구에 자력을 발생시키고 파이프를 회전시키면 자기연마 입자는 y방향과 z방향에 대해서  $F_y$ ,  $F_z$ 가 각각 작용하며, 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.)

$$F_y = V_x H (\partial H / \partial y) \quad (1)$$

$$F_z = V_x H (\partial H / \partial z)$$

여기서,  $V$ 는 자기연마 입자의 체적이고,  $x$ 는 연마 입자의 자화율,  $H$ 는 자기장의 세기,  $(\partial H / \partial y)$ 와  $(\partial H / \partial z)$ 는 자력선과 등전위선의 방향에서 자기장 세기에 대한 기울기를 나타낸다.

#### 3.2 동적거동의 특이현상

Fig. 4와 같이 발생된 자기력이 자극에 의해 자기연마재에 작용하는 자기력( $F_z$ )이 연마력의 기초가 되며, 자기연마재 입자의 파이프 내면에 대한 상대운동이 연마특성에 직접 관계되는 인자이다.

이러한 자기연마재의 파이프 내면에 대한 상대운동 거동은 접선력( $F_y$ )에 의해서 변화된다.

자기력과 연마속도에 따라 변화되는 자기연마재의 상대운동에 대한 거동을 고찰하기 위하여 Table 3과 같은 조건으로 자기연마가공을 수행하였다.

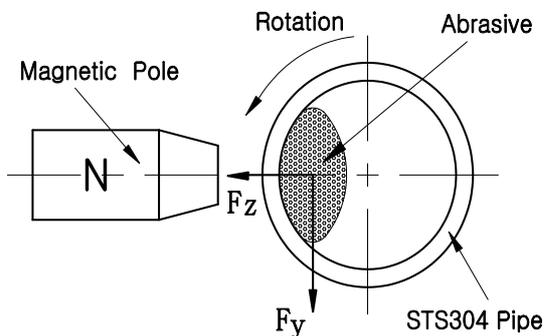


Fig. 4 Schematic for force component of magnetic abrasive on internal face

Fig. 5와 Fig. 6은 자기력 1,500G에서 각각 0.42m/s, 0.73m/s의 속도로 자기연마가공을 할 때, 파이프 내면에서 자기연마재의 상대운동 거동상태를 나타낸 것이다. Fig. 5와 Fig. 6에서 비자성체 파이프 내면에서 자기연마재는 자기브러시를 형성하며, 자기력과 접선연마저항에 의해 파이프 내면의 가공영역을 이동하면서 연마가 끝난 입자를 뒤쪽의 새로운 입자가 자생적으로 대체하는 거동을 볼 수 있었다. 이러한 자발적으로 발생하는 자기연마재의 대체 거동에 의해 가공물 표면이 미세하게 가공되는 연마기구가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 자기력 1,500G에서 1.46m/s의 속도로 자기연마 가공을 할 때의 사진이다. 가공 초기에는 (a)와 같이 파이프 내면과 자기연마재가 상대운동을 하면서 연마기구를 형성하는 것 같았으나, 시간이 경과되면서 원심력이 증가됨에 접선연마저항이 점차 상실되어 연마입자가 (b), (c)와 같이 파이프의 내면을 따라 흩어지며 회전하는 현상을 나타내 보인다.

가공 후 약 40 초 경과하면서부터는 (d)와 같이 원심력에 의해 접선연마저항이 완전히 상실되어 자기연마재가 파이프의 회전방향으로 함께 회전하는 것을 볼 수 있다.

이로 인하여 자기연마재는 파이프의 회전방향으로 링(ring)과 같은 거동을 보이면서 파이프와 함께 회전하는 현상을 나타낸다. 이러한 현상은 자기연마재와 파이프 내면과의 상대운동을 상실시키면서 가공능률의 현저한 저하를 가져온다. 따라서 이와 같은 동적인 거동특성을 살펴볼 때, 자기연마재가 연마가공을 수행할 수 있는 상대운동이 자기연마재에 작용하는 자기력의 크기와 파이프의 회전수에 따른 접선력의 크기에 따라 변화됨을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8의 (a), (b), (c)는 자기력을 3,000G로 설정하고 연마속도를 각각 0.42m/s, 0.73m/s, 1.46m/s로 자기연마 가공할 때 자기연마재의 동적인 거동상태를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 볼 수 있는 것과 같이 자기력이 증가하게 되면 자기브러시도 더욱 강력하게 형성되고, 이에 따라 자기연마입자의 자생대체 거동도 더 활발하게 진행됨을 알 수 있었다.

또한 Fig. 8의 (c)에서 볼 수 있는 바와 같이 연마속도가 1.46m/s로 증가하여도 자기력이 원심력에 의한 접선력을 지배하여 Fig. 7의 (d)와 같은 링(ring)거동 현상은 발생하지 않았다.

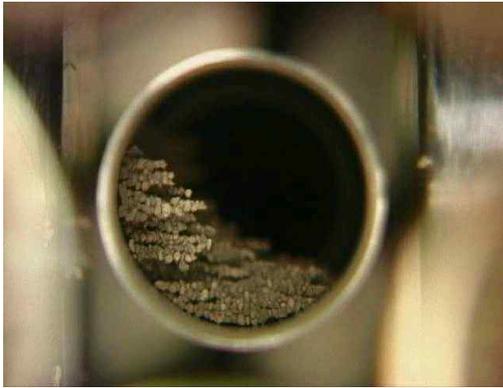
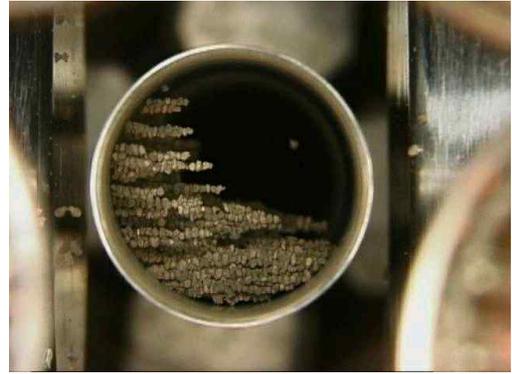


Fig. 5 Photo. for dynamic behavior of abrasive  
(flux density 1,500G, polishing speed 0.42m/s)



(a) polishing speed 0.42m/s

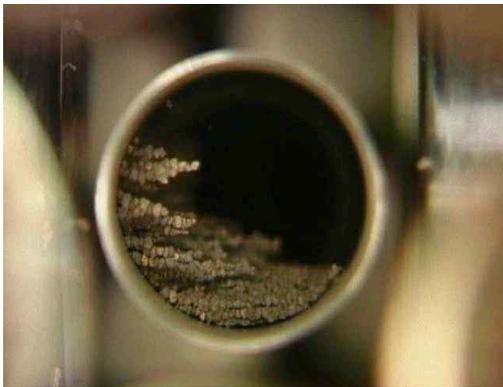
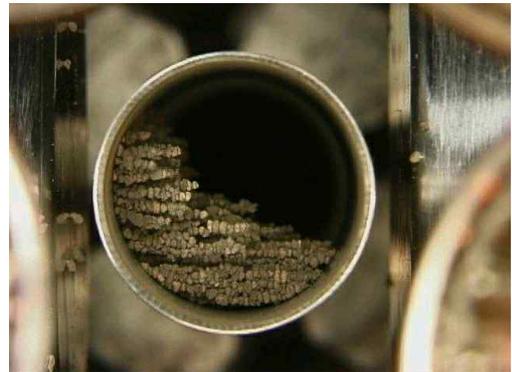
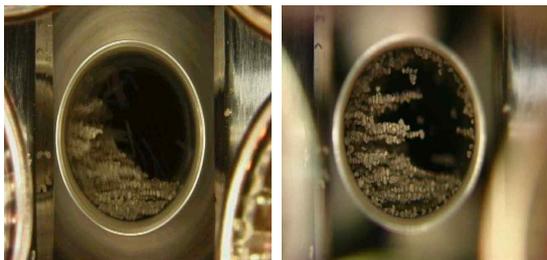


Fig. 6 Photo. for dynamic behavior of abrasive  
(flux density 1,500G, polishing speed 0.73m/s)

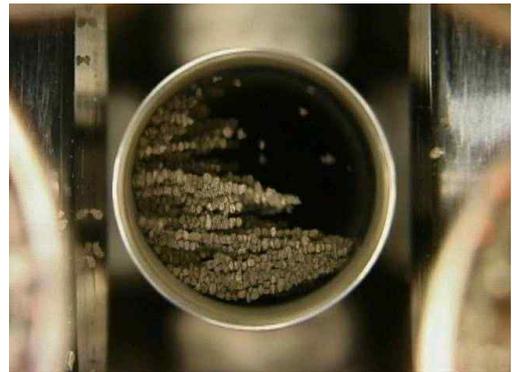


(b) polishing speed 0.73m/s



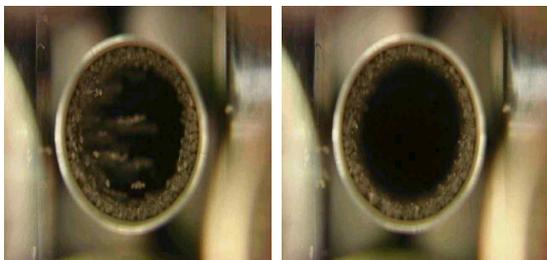
(a)

(b)



(c) polishing speed 1.46m/s

Fig. 8 Photo. for dynamic behavior of abrasive  
(flux density 3,000G )



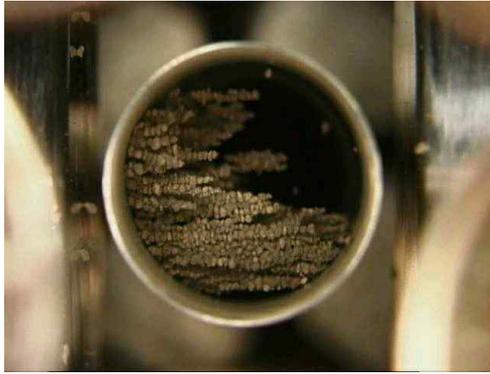
(c)

(d)

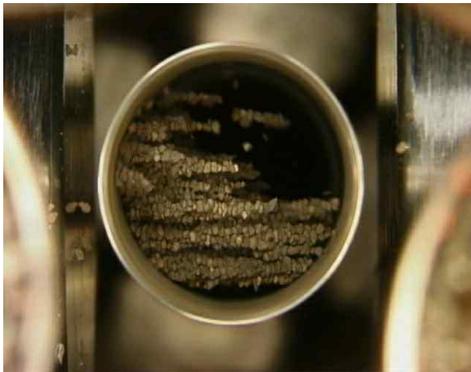
Fig. 7 Photo. for dynamic behavior of abrasive  
(flux density 1,500G, polishing speed 1.46m/s)



(a) polishing speed 0.42m/s



(b) polishing speed 0.73m/s



(c) polishing speed 1.46m/s

Fig. 9 Photo. for dynamic behavior of abrasive  
(flux density 6,000G)

Fig. 9의 (a), (b), (c)는 자기력을 6,000G로 설정하고 연마속도를 각각 0.42m/s, 0.73m/s, 1.46m/s로 자기연마 가공할 때 자기연마재의 동적인 거동상태를 나타낸 것이다. Fig. 9에서와 같이 자기력이 증가하게 되면 자기연마재 입자의 밀집도가 높아지면서 자기브러시도 더욱 강력하게 형성되고, 이에 따라 자기연마입자의 자생대체 거동도 더욱 빠르고 활발하게 진행됨을 볼 수 있었다.

따라서 Fig. 8과 Fig. 9에서와 같이 자속밀도가 3,000G이상에서는 연마속도가 증가함에 따라 원심력이 증가하여도 자기력이 접선력을 지배하므로 자기연마재의 자생대체현상이 활발하게 발생하여 연마기구가 형성되었다.

또한 강력한 자기브러시를 형성한 자기연마재는 접선연마저항에 의해 축 방향으로 원과 같은 궤적을 그리면서 자기연마재가 브러시를 형성하고 회전하는 자생대체 거동이 나타남을 알 수 있었다. 이러한 자기연마가공은 절삭가압력 역할을 하는 자기력을 인가하는 자극봉이 피가공물과 비접촉 상태이므로 피가공물, 절삭제 등의 비산에 의한 산업재해 예방에도 기여할 것으로 기대된다.

## 4. 결론

Ba-Ferrite 자기연마재의 동적거동이 연마특성에 미치는 영향에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자속밀도 1,500G, 연마속도 1.46m/s에서 자기연마재가 링(ring)과 같은 형태로 파이프와 함께 회전하는 거동을 보인다. 이로 인한 자기연마재의 파이프 내면에 대한 상대운동 소멸과 가공능률의 현저한 저하를 가져온다.
2. 자기연마재의 링(ring)거동은 작은 자기력에서 연마속도가 빠를 때 발생하기 쉽다.
3. 자속밀도 크기에 따른 연마속도의 변화는 자기연마재의 동적거동과 연마특성에 큰 영향을 미친다.
4. 자기연마재가 브러시를 형성하면서 접선연마저항에 의해 축 방향으로 원 형태의 궤적을 가지고 회전하면서 자생적으로 연마입자가 대체되는 거동을 나타낸다.
5. 이러한 자기연마가공의 효율적 활용은 기존의 직접가압방식의 가공법에 비해 보다 안전한 가공환경을 제공함으로써 산업재해 예방에도 기여할 것으로 기대된다.

## 5. 참고 문헌

- [1] Takeo Shinmura and Hitomi Yamaguchi, "磁氣研磨法による内面の平滑加工に関する研究," 日本機械學會論文集, 第59卷, 第560号, pp. 293-299, 1993.
- [2] Takeo Shinmura, Yoshitaka Hamato and Hitomi Yamaguchi, "磁氣研磨法による内面の精密バリ取りに関する研究(第1報)," 日本機械學會論文集, 第64卷, 第620号, pp. 312-318, 1998.
- [3] Masahiro Anzai, Toru Sudo and Takeo Nakagawa, "磁氣研磨用砥粒の新製造技術とその研磨特性," 生産研究, 第43卷, 第11号, pp. 13-22, 1991.
- [4] Hitomi Yanaguchi and Takeo Shinmura, "磁氣研磨法による内面の平滑加工に関する研究(第4報)," 日本機械學會論文集, 第61卷, 第591号, pp. 348-353, 1995.
- [5] Hitomi Yamaguchi, Takeo Shinmura, "内面磁氣研磨法における磁性砥粒の特異な舉動と加工能率向上効果," 機械と工具, pp. 89-93, 1999. 3.
- [6] Takeo Shinmura, Eiju Hatano and Koya Takazawa, "回転磁界を利用した磁氣研磨法とその加工装置の開発," 日本機械學會論文集, 第52卷, 第476号, pp. 1462-1468, 1985.

[7] Takeo Shinmura, "円筒磁気研磨法," 機械技術, 第44巻, 第8号, pp. 108-112, 1996.

[8] Takeo Shinmura, "磁気研磨法の現状と課題," 機械と工具, 第44巻, 第9号, pp. 16-21, 1996.

[9] Kazuhiro Tsuchiya, Yasuo Shimizu, Kazuhiko Sakaki and Mototaro Sato, "磁気研磨法における研磨機構," 日本金屬學會誌, 第57巻, 第11号, pp. 1333-1338, 1993.

[10] Kiyoshi Suzuki, "最近の特殊研磨加工技術," 機械と工具, pp. 9-12, 1998.5.

[11] 進村武南, 波田野 榮十, "磁気研磨法の研究 -回轉磁極による内面および球面の研磨," JSPE-52-08, '86-08-1390, pp. 108-110, 1986.

[12] 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마," 한국정밀공학회 추계학술대회는논문집, pp. 947-952, 2001.

[13] 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마," 한국산업안전·위생학회 공동 학술대회논문집, pp. 179-185, 2001.

[14] 김희남, 윤여권, 심재환, "자기연마를 이용한 STS 304 파이프 내면의 초정밀 가공," 한국산업안전학회지, Vol. 17, No. 3, pp. 30-35, 2002.

[15] 김희남, 윤여권, 김상백, 최희성, 안효중, "sludge를 이용한 자기 연마재 개발," 한국산업안전학회지, Vol. 19, No. 2, pp.6~10, 2004., Vol. 17, No. 3, pp.30-35, 2002.

[16] 김희남, 윤여권, 김상백, 최희성, "슬러지 연마입자를 이용한 이음매 없는 스테인리스강 튜브 내면의 자기연마," 한국자동차공학회는논문집, Vol. 12, No. 6, pp.151-157, 2004.

[17] 김희남, 윤여권, "Ba-Ferrite와 GC, CBN을 이용한 자기연마재 개발," 한국안전학회지, Vol. 23, No. 5, pp.43-48, 2008.

## 저 자 소 개

### 윤 여 권



명지대학교 대학원에서 석사, 박사학위를 취득하였으며, 관심분야는 CAD/CAM 및 초정밀 가공과 산업안전 관련 분야이며 현재는 유한대학 기계설계과 조교수로 재직하고 있다.

주소: 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34 유한대학 기계설계과

### 김 희 남



인하대학교에서 석사, 한양대학교에서 박사학위를 취득하였으며, 관심분야는 초정밀가공 및 소성가공과 산업안전 관련 분야이며, 현재 명지대학교 공과대학 기계공학과 교수로 재직하고 있다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산36-2 명지대학교 공과대학 기계공학과