

# 자성지립의 거동이 연마특성에 미치는 영향

김희남 · 윤여권\* · 최희성\*

명지대학교 · \*명지대학교 대학원

## 1. 서 론

산업이 고도화됨에 따라 각종 기계·기구에 사용되는 부품의 높은 정밀도가 요구되면서 기존의 공구와 가공물이 직접 접촉하면서 절삭하는 가공방법으로는 절삭력에 의한 변형과 마찰열로 인하여 고정도 및 고정정 가공을 실현하는데 많은 어려움이 생기게 되었다. 이러한 중에 보다 우수한 표면의 품위를 얻기 위한 가공법중의 하나로 대두되었다. 자기연마법은 자기력에 의해 자기연마재를 끌어당겨 가공물을 연마하는 방법으로서 가공물 표면의 청정유지와 고정밀도를 실현할 수 있다. 이러한 자기연마 기술에서 자기연마재는 가공의 주체로써, 성공적인 자기연마가공을 위해서는 가공효율이 뛰어난 자기연마재와 자기연마기구의 개발이 선행되어야 함이 필수적이다.

이러한 필요성에 의해 자기연마장치 및 연마재에 관한 많은 연구<sup>1)~11)</sup>가 이루어져 왔다. 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 실정 이어서 국내에서 활용하기는 매우 어려운 형편이다. 따라서 국내에서도 고정정과 함께 고정도가 요구되는 산업분야에 자기연마의 활용이 활성화되기 위해서는 자기연마재와 자기연마기구의 개발이 시급히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 강자성체인 저가의 슬러지와 GC를 연마재로 이용한 자기연마재를 개발하였으며, 비자성체 재료인 STS 304 파이프 내면에 대한 자기연마가공 실험을 하였다. 이러한 자기연마 공정에서 자기연마 입자의 거동은 가공효율을 비롯한 파이프 내면의 표면거칠기 등의 연마특성에 중요한 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 자속밀도에 따른 연마입자의 동적인 거동상태, 연삭속도와 최소의 연삭회수에 따라 변화되는 파이프 내면의 가공에 대한 특성을 비교하여 최적의 가공조건을 찾는 것이 목적이다.

## 2. 자기연마장치 및 실험

### 2.1 자기연마 실험

슬러지를 이용한 자성지립의 동적인 거동이 자기연마 특성에 미치는 영향을 알아보기 위

해 Fig. 1과 같은 자기연마기구를 제작하여 Table 1과 같은 조건으로 자기연마를 수행하였다. Fig. 1에 나타난 자기력 장치는 자속밀도를 최대 1.5Tesla 까지 발생시킬 수 있도록 설계 제작되었다. 본 실험에 사용된 이음매 없는 STS 304 파이프의 치수는 내경 25 mm, 두께 0.7 mm 이며, 길이는 150mm로 절단하여 축 방향으로 자극을 이동하면서 자기연마 가공을 수행하였다.

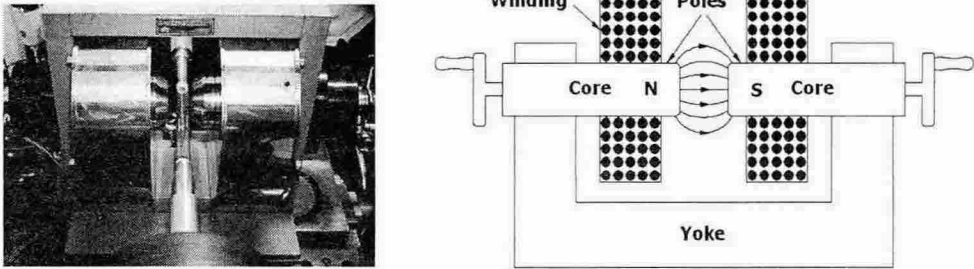


Fig. 1 Photographs of experimental equipments for magnetic abrasive grinding

Table 1 Grinding conditions

Magnetic material	Abrasive material	Abrasive size (mm)	Magnetic flux density (G)	Grinding speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Pass number
Sludge	GC	0.5	2,000	31.8	0.55	1
			4,500	64.6		2
			7,000	109.9		

## 2.2 자기연마 기구

Fig. 1과 같은 자기연마기구에 외부에서 전원을 공급하면 자극봉에 감겨진 코일에 전원을 인가하여 형성된 자기력은 자기연마재를 끌어당겨 자기브러쉬를 형성하게 된다. Fig. 2에 이러한 연마기구를 그림으로 나타내었다. 연마기구에 자력을 발생시키고 파이프를 회전시키면 자기연마 입자는 y방향과 x방향에 대해서  $F_y$ ,  $F_x$ 가 각각 작용하며 식(1)과 같이 표현 할 수 있다. 여기서  $v$ 는 자기연마 입자의 체적이고,  $\chi$ 는 자기연마의 자화율,  $H$ 는 자기장의 세기, 그리고  $(\partial H/\partial y)$ ,  $(\partial H/\partial x)$ 는 자력선과 등전위선의 방향에서 자기장 세기에 대한 기울기를 나타낸다.

자기연마장치는 외부에서 전원이 공급되어 자극봉에 자력선이 발생하여 파이프 내면을 자기연마하는 방법으로 파이프 내면을 가공하게 된다. 자기력은 자기연마입자가 y방향과 x방향에 대해서  $F_y$ ,  $F_x$ 가 각각 작용한다.

$$\left( \begin{array}{l} F_y = V\chi H(\partial H/\partial y) \\ F_x = V\chi H(\partial H/\partial x) \end{array} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Fig.2에서 시편은 자력선이 형성된 자극봉 주위를 빠른 속도로 회전함에 따라 전자석을 만든다. 연마력은 자력선에 의해서 자장을 끌어당기는 힘으로 실린더 파이프 내면에 투입한 연마입자가 파이프 내면에 밀착하여 자기 브러시를 형성하고 끌어당기는 자력과 마찰력으로 자기연마를 진행한다. 즉, 연마재는 외부에서 발생하는 자기력에 의해서 실린더 파이프 내면에 연마력을 형성하여 내부 표면에 미소한 압력을 가하면서 자기연마를 진행한다.

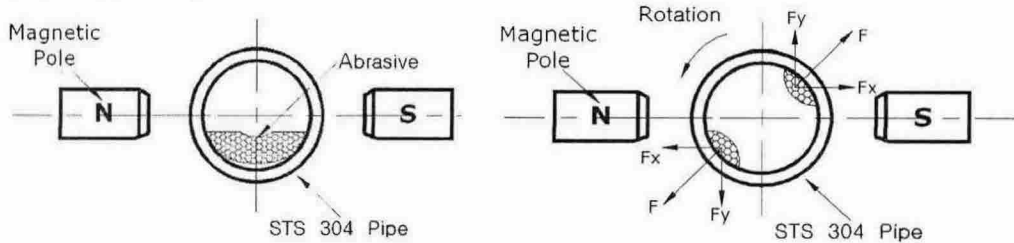


Fig. 2 Schematic for force component of magnetic abrasive on internal face

### 2.3 자기연마재

본 실험에서는 자성지립의 거동이 가공효율 및 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 슬러지를 자성재료로 하였으며, 320mesh의 GC 연마입자를 저온 합성이 가능한 지석용 액상수지 결합제로 185℃에서 120분간 합성한 자기연마재를 사용하였다. 합성공정을 거친 자기연마재를 분쇄기를 통해 평균 입도 0.5mm 크기와 1mm의 크기를 가진 grit 분말형태로 제조한 연마재를 사용하여 가공을 수행하였다.

## 3. 자성지립의 거동이 표면거칠기에 미치는 영향

### 3.1 연마조건과 연마입자의 변화에 따른 표면거칠기

연마속도와 자속밀도 등의 연마조건이 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Table 1과 같은 조건으로 가공을 수행하였으며, 또한 연마입자의 종류에 따른 표면거칠기 변화를 비교하였다.

Fig. 3은 0.5mm 크기의 grit 분말형태로 제조한 자기연마재로 가공하였을 경우에 연마조건 변화에 따른 표면거칠기를 보여주고 있다. 일정한 연삭속도에서 자속밀도가 증가함에 따라 표면거칠기가 향상되는 경향을 볼 수 있다.

Fig. 4는 1mm 크기의 grit 분말형태로 제조한 자기연마재로 가공하였을 경우에 연마조건 변화에 따른 표면거칠기를 보여주고 있다. 또한 일정한 연마속도에서 자속밀도가 증가할수록 표면거칠기가 향상되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3에 비하여 Fig. 4의 가공조건에서 자속밀도가 2000, 4500G일 때 비교적 양호한 면을 얻을 수 있었다. 연삭속도 109.9m/min 자속밀도가 7000G일 때는 자성지립의 크기

가 1mm일 때가 대체적으로 양호했지만 자성지립의 크기가 0.5mm, 연삭속도 109.9m/min, 자속밀도 7000G로 가공했을 경우 0.25 $\mu$ mRa의 양호한 표면을 얻을 수 있었다. 이는 강한 자기흡인력에 따른 자기연마재의 자생교반이 활발히 진행되면서 새로운 연마입자로 대체되어 신생되는 자기브러쉬에 의해 연삭효율이 증가되는 것에 의한 것이다.

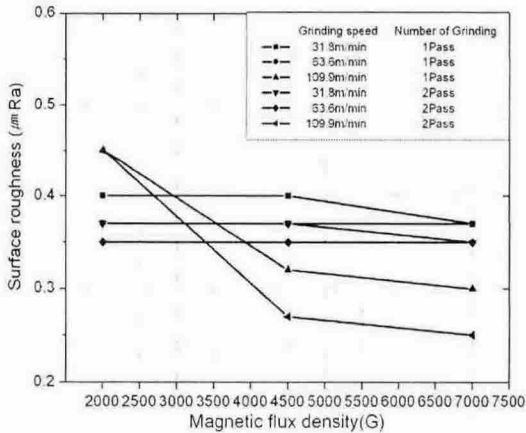


Fig.3 Surface roughness VS. magnetic flux density at abrasive grit 0.5mm, Feed rate 0.55mm/rev

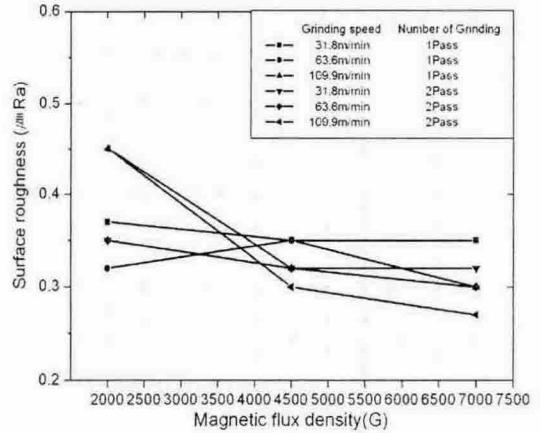


Fig.4 Surface roughness VS. magnetic flux density at abrasive grit 1mm, Feed rate 0.55mm/rev

### 3.2 자성지립의 거동

자기연마 가공은 자력을 발생시키는 자극과 자기연마재 사이에 위치한 피가공물을 자기흡인력을 이용하여 표면을 가공하는 방법이다. 따라서 자극에서 가해지는 자기력과 연마속도에 따라 피가공물 내부에서 변화되는 자기연마재의 거동은 가공능률을 결정짓는 중요한 인자이다. 자극에 의해 발생된 자기력이 자기연마재에 작용하는 힘( $F_x$ )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. 따라서 여기서는 자기력과 연마속도에 따라 변화되는 자기연마재의 상대운동에 대한 동적인 거동을 고찰하였다.

Fig. 5는 자기연마 장치에 STS304 파이프를 장착하고 Table 1의 조건으로 설정한 다음 연마재를 투입하여 가공을 진행하고 있는 상태를 보여준다. 자속밀도 2000G, 연삭속도 109.9m/min의 가공 조건에서는 Ring현상이 발생하여 파이프 내면의 가공이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 동적인 상태에서 자기브러쉬를 형성하는 자기연마재는 자기력( $F_x$ )과 접선연마력( $F_y$ )에 의해 파이프 내면의 가공영역을 이동하면서 연마가 끝난 입자를 뒤쪽의 새로운 입자가 자생적으로 대체되며, 또한 접선연마저항에 의해 축 방향으로 원과 같은 궤적을 가지고 자기연마재가 브러쉬를 형성하면서 회전하면서 교반(攪拌)되는 거동이다. 자속밀도 7000G, 연삭속도 109.9m/min의 가공 조건은 자기력과 접

선연마력이 적절하게 합성이 되어 가장 효율적인 가공을 하고 있는 상태이다. 이러한 자성지립의 거동이 가공물의 표면을 효율적으로 가공하는 것을 알 수 있다.

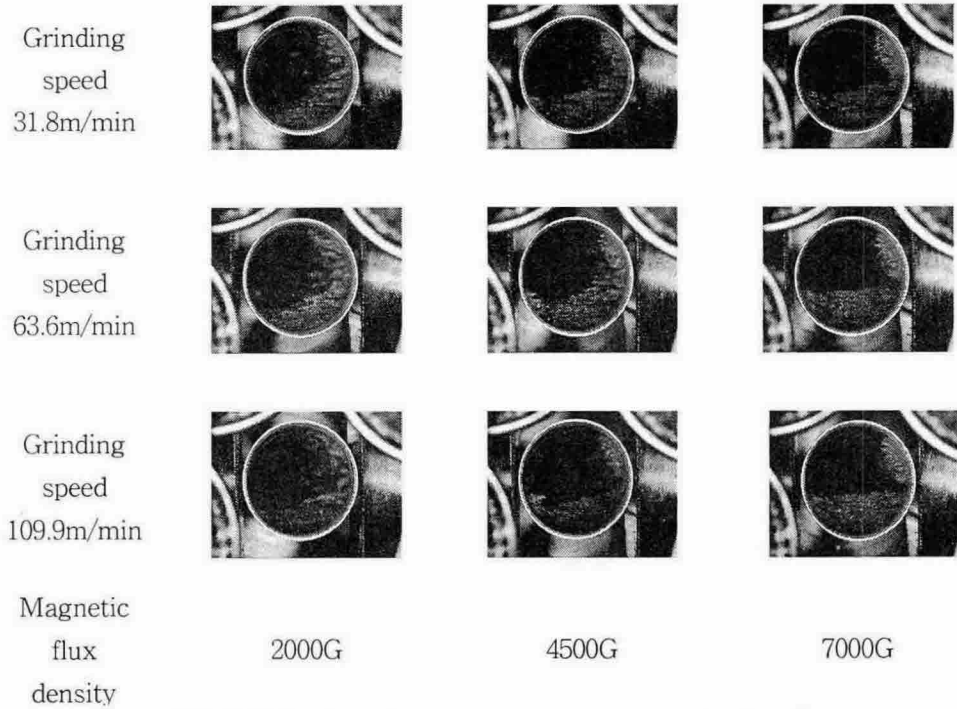


Fig.5 Behavior of magnetic abrasives inside the pipe

#### 4. 결 론

Sludge 연마입자를 이용한 STS304 파이프 내면을 자기연마 가공을 통하여 다음과 같이 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 연마속도와 자속밀도가 증가함에 따라 표면거칠기는 향상되는 경향을 나타낸다.
- 2) 연마입자의 크기 0.5mm, 자속밀도 7000G 연삭속도 109.9m/min에서 0.25 $\mu$ mRa의 양호한 표면을 얻을 수 있었으며, 연마입자의 크기 1mm일 때 대체적으로 양호한 표면을 얻을 수 있었다.
- 3) 강자성체인 저가의 슬러지와 GC를 연마재로 이용하여 최소의 연삭회수에서도 효율적인 가공을 할 수 있었다.
- 4) 동적인 상태에서 자기연마재는 적절한 자기력과 접선연마력의 합성에 의해 효율적인 가공을 할 수 있었다.
- 5) 범용선반에 자기연마 장치를 부착하여 자기연마 가공이 가능함을 알 수 있었으며,

이를 활용함으로써 슷돌형태의 내면 연마에서 작업 안전성을 높이고, 청정가공을 통해 산업위생 파이프 제작에 기여할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 산학협동재단의 2003년도 학술연구비 지원에 의하여 수행된 과제로서 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- 1) H.Yamaguchi, T.Shinmura and T.Kaneko, "Development of a New Internal Finishing Process Applying Magnetic Abrasive Finishing by Use of Pole Rotation System", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 30, No. 4, pp. 317-322.
- 2) Masahiro ANZAI and Takeo NAKAGAWA, "磁氣研磨加工の高效率化", 生産研究 第45卷 12号, pp.816-820, 1993.
- 3) 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 560号, pp.293-299, 1993.
- 4) Takeo SHINMURA, Yoshitaka HAMANO 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 620号, pp.312-318, 1998.
- 5) Takeo SHINMURA and Toshio AIZAWA, "磁氣研磨法による非磁性圓管内面の平滑加工に関する研究", JPSE-54-04-767.
- 6) Takeo Shinmura, "磁氣研磨法による円管内面のバリ處理技術", 機械技術, 第44卷,第2号, pp.24-28, 1996.
- 7) 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.
- 8) Hitomi Yamaguchi, Takeo Shinmura, "内面磁氣研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.
- 9) 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.947~952, 2001.
- 10) 김희남, 윤여권, 심재환, "자기연마를 이용한 STS304 파이프 내면의 초정밀 가공", 한국산업안전학회지, Vol. 17, No. 3. pp.30~pp.35, 2002.
- 11) 김희남, 송승기, 정윤중, 윤여권, 김희원, 조상원, 심재환, "Ba-Ferrite를 이용한 자기 연마재 개발", 한국산업안전 학회지, Vol. 18, No. 2. pp.46~pp.49, 2003.