

# Sr-Ferrite를 이용한 자기 연마재에 관한 연구

김희남\* · 김동욱\*\*

## A Study on Magnetic Abrasive Using Sr-Ferrite

Hee-Nam Kim · Dong-Wook Kim

**Abstract** - In this paper deals with behavior of the magnetic abrasive using Sr-Ferrite on polishing characteristics in a internal finishing of stainless steel pipe applying magnetic abrasive polishing.

The magnetic polishing is the useful method to finish some machinery fabrications by using magnetic power. This method is one of the precision techniques and has an aim for clean technology in the transportation of the pure gas in the clean pipes. The magnetic abrasive polishing method is not so common in the field of machine that it is not known to widely. There are rarely researcher in this field because of non-effectiveness of magnetic abrasive. Therefore, in this paper we deals with the development of the magnetic abrasive with the use of Sr-Ferrite. In this development, abrasive grain SiC has been made by using the resin bond fabricated at low temperature. And magnetic abrasive powder was fabricated from the Sr-Ferrite which was crushed into 200 mesh. The XRD analysis result shows that only SiC abrasive and Sr-Ferrite crystal peaks were detected, explaining that resin bond was not any more to contribute chemical reaction. From MACRO analysis, we found that SiC abrasive and Sr-Ferrite were strongly bonding with each other. ]

**Key Words** - magnetic abrasive, Sr-Ferrite, silicon carbide

### 1. 서론

산업이 고도화됨에 따라 각종 기계·기구에 사용되는 부품의 고정도가 요구되면서 기존에 공구와 가공물이 직접 접촉하면서 절삭하는 가공방법으로는 절삭력에 의한 변형과 마찰열로 인하여 고정도 가공을 실현하는데 많은 어려움이 생기게 되었다.

이러한 절삭가공법 중 연삭가공은 주로 가공물의 마무리에 이용되는 가공법으로서, 비교적 정밀하고 양호한 표면의 품위가 요구되어지는 부품에 사용되어왔다. 공구가 숫돌형태인 연삭가공은 공작물에 연삭력이 직접 가압되는 가공으로서 트러블(trouble)이 발생할 경우 숫돌의 파괴로 인한 산업재해가 발생할 수 있으며, 연

삭열의 발생을 억제하기 위해 연삭유를 사용하여 함으로 인하여 산업위생상 고정정용 소재의 고품위 표면을 얻기 위한 가공으로는 적합하지 않다. 이러한 산업안전의 문제 해결과 함께 보다 더 우수한 표면의 품위를 얻기 위한 가공법 중의 하나로 자기연마법이 대두되었다.

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 이루어져야 함이 필수적이다. 이러한 자기연마재의

\* 명지대학교 교수, hnkim@mju.ac.kr

\*\* 한국과학기술원 대학원

개발을 통해 산업재해 감소를 꾀할 수 있음은 물론 가격 경쟁력의 향상과 자기연마재의 재활용은 자원의 활용도를 높여 기업경쟁력을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 자기연마재는 국내·외에서 사용되는 반도체용 튜브, 식품 위생 기기, 의료기기, 고순도 가스용기 등의 청정 및 산업위생 분야에도 활용이 광범위하게 확대될 것으로 예상된다.

이와 같이 고청정과 함께 고정도가 요구되는 산업분야에 자기연마법의 사용이 활성화되기 위해서는 효율적인 자기연마재의 개발이 시급히 필요한 실정에 있다.

이러한 필요성에 의해 자기연마장치 및 연마재에 관한 많은 연구[1-11]가 이루어져 왔으며, 이들은 주로 자기력과 자극의 배치 등이 자기연마효율에 미치는 영향과 고경도 재료인 세라믹이나 초경합금 등을 연마하기 위한 다이아몬드, CBN 등을 이용하여 연마재를 제조하거나 산화철과 알루미늄을 화학반응으로 제조하는 방법에 관한 연구이다.

본 연구에서는 자기연마 효율을 향상시키기 위해 Sr-Ferrite를 자성재료로 하여 SiC 지립을 이용한 자기연마재를 개발하였다. 따라서 본 개발을 통하여 제조된 연마재의 미세구조 및 성분 분석과 자기연마재의 동적인 거동실험을 통하여 자성미립연마재로서의 정밀연마기능을 수행할 수 있는 특성을 평가함에 목적이 있다.

## 2. 자기연마재 제조 및 분석

### 2.1. 자기연마재 제조

#### 2.1.1. Sr-Ferrite 자기연마재의 구성

본 개발 대상인 자기연마재에서 자성재료로 사용된 Sr-Ferrite는 산화철(Fe2O3)과 탄산스트론튬(SrCO3)을 기본원료로 1,200°C에서 소결

한 후 200mesh로 전통시킨 것을 사용하였으며, 보자력이 높고 비중이 작으며 가격이 저렴한 장점이 있다. 또한 연마지립으로 사용된 SiC 입자는 좋은 결합성을 지니고 있으며, 입자가 예리하여 합금강, 고속도강 등과 같은 경한 재료의 연마에 적합하다. 본 연구에서는 SiC 입자의 크기 변화에 따른 자기연마재 제조특성과 가공성을 평가하기 위하여 1,000 mesh, 4,000 mesh, 8,000 mesh의 SiC 입자를 사용하였다.

Table 1. Compositions of magnetic abrasive

Magnetic material	Abrasive	Grain mesh	Resin (ml/g)
Sr-Ferrite (SrFe12O19)	SiC	1,000	0.17
		4,000	0.23
		8,000	

Table 2. Compositions of the mixture rate

Type	Composition	Resin (ml/g)	Synthesis temperature (°C)	Synthesis time(min)
A	Sr-Ferrite : SiC = 1 : 1	0.17 0.23	185	120
B	Sr-Ferrite : SiC = 1 : 2			
C	Sr-Ferrite : SiC = 1 : 4			

기준에 결합제로 많이 사용되던 비트리파이드(vitrified)계 본드는 결합도를 비교적 광범위하게 조절할 수 있는 장점이 있는 반면, 약 1,300°C의 고온에서 소결시 연마재가 산화되어 성분이 변화되는 것을 방지하기 위해 N2 분위기를 조성해야하는 문제로 인해 대량생산에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 우수한 입자 매트릭스(matrix)를 형성할 수 있으며 저온에서도 제조 가능한 지석용 액상수지를 결합제로 사용하였으며, 결합도와 기공의 적정성을 조

절하기 위해 첨가비율을 변화시켰다. 자기연마재 조성비율은 Table 1과 같으며, 원료가 되는 각각의 첨가량은 무게비로 정량화 하였다.

### 2.1.2. Sr-Ferrite 자기연마재의 제조

Table 1과 같은 조성 비율로 구성된 자기연마재의 혼합은 공업적인 대량생산을 위하여 단순혼합을 이용하였다. Sr-Ferrite와 SiC가 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℃의 온도에서 120분 동안 합성하였다. 이러한 저온합성은 산화방지를 위한 N<sub>2</sub> 분위기 조성이 필요치 않아 대량생산에 적합하며, 이러한 합성공정을 거친 자기연마재는 분쇄기를 통과하여 소요되는 크기의 미립으로 제조된다.

## 2.2. 자기연마재 분석

### 2.2.1. 자기연마재의 구조분석

위의 2.1과 같은 공정을 거쳐 제조되어 미립 구조를 갖춘 자기연마재의 성질을 알아보기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 미세구조를 분석하였다.

Fig. 1은 Sr-Ferrite와 입도 1,000 mesh의 SiC를 결합제 0.23 ml/g의 비율로 혼합하여 제조한 자기연마재의 MACRO 사진이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 SiC 입자와 Sr-Ferrite가 고르게 분포된 결합제를 통해 강한 결합이 이루어 졌음을 볼 수 있으며, 스톤구성 요소 중의 하나인 기공도 비교적 고르게 분포되었음을 알 수 있다. 또한 Fig. 2는 일정한 자기연마 조건에 의하여 자기연마가공이 끝난 다음의 MACRO를 통한 미세구조를 나타낸 사진으로

서, 강력한 자기력의 발생에 의한 자기연마가공 중에 입자의 일부가 마모, 탈락, 생성의 자생작용을 함으로써 연마능력을 계속 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

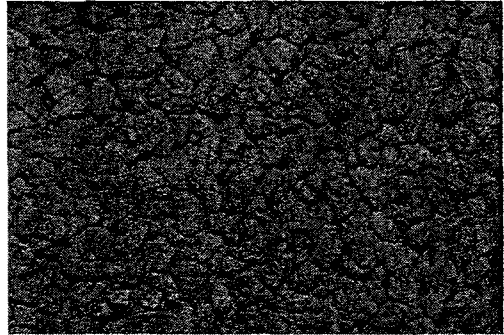


Fig. 1. Photo. of type C grain observed by MACRO (before magnetic polishing)

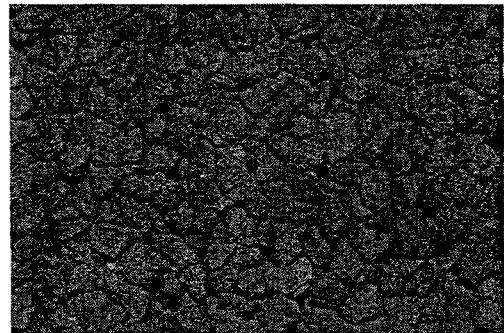


Fig. 2. Photo. of type C grain observed by MACRO (after magnetic polishing)

### 2.2.2. 자기연마재의 성분분석

위의 2.1에서 언급한 바와 같은 혼합비율로 자기연마재가 제조되는 과정에서 합성되는 공정의 영향과 결합제와의 화학반응 등으로 인하여 성분 및 구성 비율 등의 변화를 고찰하기 위하여 X-Ray Diffraction (XRD)를 이용하여 성분 분석을 실시하였다. Fig. 3은 Sr-Ferrite와 입도 1,000 mesh의 SiC를 결합제 0.23 ml/g의 비율로 혼합하여 제조한 자기연마재에 대한 XRD 분석결과를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Sr-Ferrite와 SiC 외에 다른 성분

을 나타내는 피크(peak)가 거의 나타나지 않음으로 결합제와의 합성으로 인한 화학반응이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

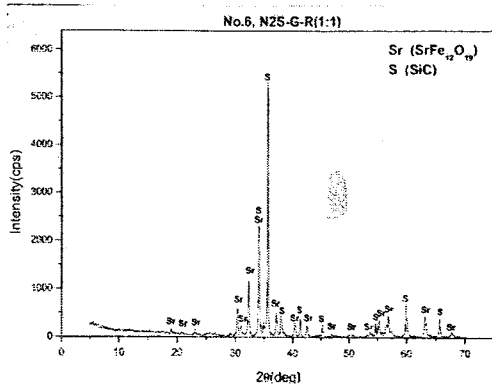


Fig. 3. XRD analysis pattern of magnetic abrasive type C

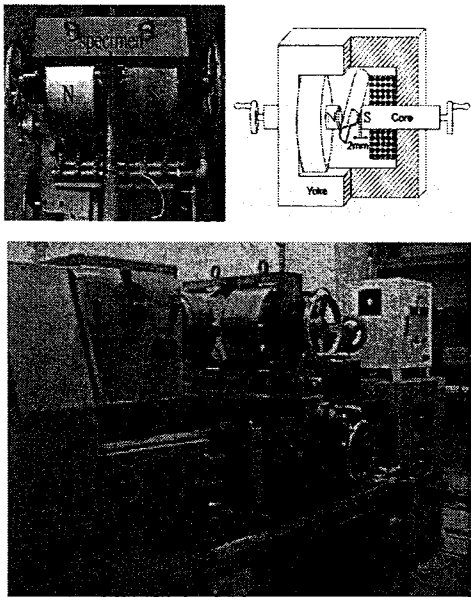


Fig. 4. Photographs of experimental equipments of magnetic polishing

### 3. 자기연마재의 자기특성

본 연구개발을 통하여 제조된 자기연마재의 자기적 성질을 알아보기 위하여 Fig. 4와 같은

구조의 자기연마장치를 이용하여 자기연마실험을 수행하였다. Fig. 4와 같은 자기연마장치에 비자성체 재료인 STS304 파이프를 장착하고 자속밀도를 6,000 G로 설정한 다음 자기연마재를 투입하여 자기연마가공을 진행하고 있는 상태를 Fig. 5에 나타내었다.

그림에서 동적인 상태에서 전자석에서 발생된 자기력에 의해 자기 브러쉬가 형성되어 자기연마재가 강하게 끌어 당겨지면서 비자성체 내면을 연마하는 것을 볼 수 있으며, 이는 본 연구에서 개발된 자기연마재가 강자성을 띄고 있음을 의미한다.

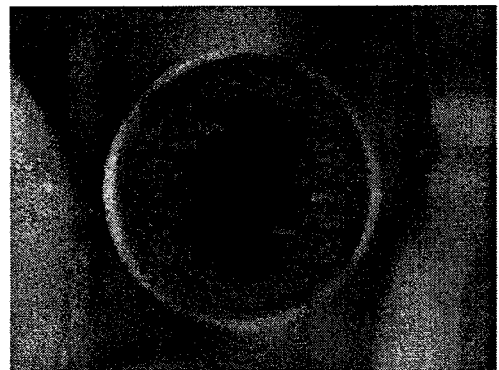


Fig. 5. Photo. of magnetic brush  
(magnetic flux density 6,000G, rpm 1,200)

### 4. 결론

Sr-Ferrite를 이용한 자기연마재 개발을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 자성재료인 Sr-Ferrite를 이용하여 산화분해 및 가격이 비싼 Fe powder를 이용한 자기연마재를 대체할 수 있는 우수한 자기적 특성을 지닌 자기연마재를 개발할 수 있었다.

2) 미세구조 분석결과 합성한 연마재를 분쇄

하였을 때 분쇄균열의 경로가 결합제를 통하여 이루어짐을 알 수 있었다.

3) 자기연마재의 성분분석 결과 합성공정 및 결합제가 Sr-Ferrite와 SiC 에 대하여 화학적 반응을 일으키지 않았다.

4) 본 개발을 통해 제조된 Sr-Ferrite와 SiC 를 이용한 자기연마재에서 Sr-Ferrite는 고유의 특성인 강자성을 유지하며, 자기력 발생장치의 자기장에 의해 자성을 갖게 됨을 알 수 있었다.

5) 기공성형이 잘된다.

6) 입자의 자생작용이 조절되도록 결합력을 변화시킬 수 있다.

#### 참고문헌

- 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) 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.
- 4) 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. 3.
- 5) Takeo Shinmura, Eiju Hatano and Koya Takazawa, "回轉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.
- 6) Takeo Shinmura, "円筒磁氣研磨法," 機械技術, 第 44 卷, 第 8 号, pp. 108~112, 1996.
- 7) Takeo Shinmura, "磁氣研磨法の現状と課題," 機械と工具, 第 44 卷, 第 9 号, pp. 16 ~ 21, 1996.
- 8) Kazuhiro Tsuchiya, Yasuo Shimizu, Kazuhiko Sakaki and Mototaro Sato, "磁氣研磨法における研磨機構," 日本金屬學會誌, 第 57 卷, 第 11 号, pp. 1333~1338, 1993.
- 9) Kiyoshi Suzuki, "最近の特殊研磨加工技術," 機械と工具, pp. 9~12, 1998.5.
- 10) 進村武南, 波田野 榮十, "磁氣研磨法の研究 -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.
- 11) 김희남, 윤여권, 심재환, "STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 947~952, 2001.