

Sludge를 이용한 자기연마재 개발

김희남 · 윤여권* · 김희원* · 하문호 · 안효종** · 심재환**

명지대학교기계공학과 · *명지대학교 대학원 기계공학과 · **신성내오텍(주)

1. 서 론

최근 반도체 및 식품, 의료기기를 비롯한 기간산업 분야의 고도화에 따라 사용되는 부품의 정밀도뿐만 아니라 청정도를 동시에 요구하는 추세이다. 따라서 기존의 기계적 가공방법으로는 공작물 표면에 미소한 가공흔적이 남게되어 표면의 요철부분에 칩(chip)등의 불순물이 잔재할 우려가 있으며, 또한 요철 부분에 미생물이 번식할 경우 청정도가 떨어져 산업위생상의 문제점이 발생하게 된다.

이러한 불순물은 고청정을 요구하는 산업분야에는 적합하지 못하므로 청정도를 유지하기 위해 기존의 공구와 공작물이 접촉하는 방식의 가공법에서 탈피한 새로운 비접촉 연마방식인 전해연마(electro polishing)가공이 활용되었다. 전해 연마는 반도체 제조장비, 식품위생기기, 의료기기, 공압용 파이프, 고순도 가스용기 등과 같이 청정을 요구하는 다양한 산업분야에 적용되어 왔으나, 전해 연마에 사용되는 전해액 등은 환경오염발생 물질로서 폐기물 처리에 있어서 환경적인 어려움이 발생된다. 따라서 제품의 고청정과 함께 정밀도를 유지함과 아울러 친환경적인 청정가공법의 개발이 반드시 필요한 실정이다. 이와 같은 요구를 충족하기 위해 대두되고 있는 자기 연마는 자기력을 이용하여 자기 연마재를 끌어당겨 가공물을 건식 연마하는 가공법으로서 가공물 표면의 청정유지와 고정밀도를 실현할 수 있다. 이러한 자기 연마법에서 자기연마재는 가공의 주체로써, 가공정밀도 및 효율을 좌우하는 핵심요소이므로 우수한 자기연마재의 개발이 필수적으로 이루어져야 한다. 현재까지 주로 자기연마재에 자성을 부여할 목적으로 산화철과 알루미늄 등을 화학반응으로 제조한 입자를 사용해 왔으나, 연마효율이 떨어지고 재활용이 어려우며 가격경쟁력이 떨어지는 문제점을 안고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로써 제강공정에서 생성되어 산업폐기물로 버려지는 슬러지(sludge)를 이용하여 자기연마재를 개발함으로써 자원의 재활용(recycling)성을 높일 수 있음은 물론, 자기연마재로 사용한 후에도 숏 피이닝(short peening) 등의 공정에도 다시 재활용할 수 있다는 이점이 있다.

본 연구에서는 산업폐기물로 발생하는 슬러지를 자성재료로 활용하고 WA와 GC 입자를 연마재로 사용한 자기연마재를 제조하여 재활용도를 높일 수 있어 경제적이며, 가공효율이 우수한 자기연마재를 개발하였다. 이러한 개발을 통하여 제조된 연마재의 미세구조 및 성분 분석과 자기연마재의 동적인 거동실험을 통하여 자기연마재로서 정밀연마기능을 수행할 수 있는 특성을 평가함에 목적이 있다.

2. 자기연마재 제조 및 분석

2.1 자기연마재 제조

2.1.1 Sludge이용 자기연마재의 구성

본 개발 대상인 슬러지(sludge)를 이용한 자기연마재에서 자성재료로 제강공정에서 생성되어 산업폐기물로 버려지는 슬러지를 기본원료로 사용하였다. 자기연마재의 형상에 따른 연마특성을 알아보기 위하여 200 mesh의 크기로 분쇄시킨 슬러지와 평균입경이 1.2 mm인 볼(ball)형태의 슬러지를 사용하였다.

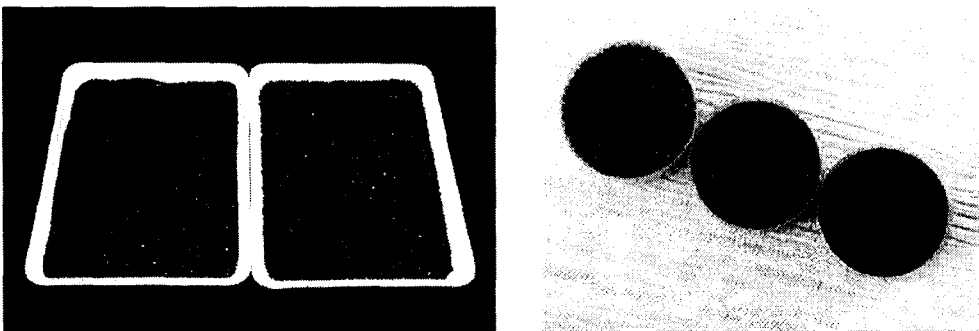
Fig. 1의 (a)는 본 개발에서 자성재료로 사용된 200 mesh의 크기로 분쇄시킨 형태의 슬러지이며, (b)는 볼 형태의 슬러지를 보여준다.

또한 연마입자로 사용된 WA입자는 좋은 결합성을 지니고 있으며, 입자가 예리하여 합금강, 고속도강 등과 같은 경한 재료의 연마에 적합하다. GC 입자는 WA 보다 경도가 크고 조직이 치밀하여 입자의 파쇄가 용이하며, 예리한 입자 날의 생성으로 칠드주물과 초경 등의 연마에 적합한 특성을 지니고 있다.

그리고 연마 입자의 종류에 따른 자기연마재 제조 특성과 가공성을 평가하기 위하여 1,000 mesh의 WA와 GC 입자를 사용하였다. 기존에 결합제로 많이 사용되던 비트리 파이드(vitrified)계 본드는 결합도를 비교적 광범위하게 조절할 수 있는 장점이 있는 반면, 약 1,300℃의 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 지식용 액상수지를 결합제로 사용하였으며, 결합도와 기공의 적정성을 조절하기 위해 첨가비율을 변화시켰다.

자기연마재 조성비율은 Table 1과 같으며, 원료가 되는 각각의 첨가량은 무게비로 정량화 하였다.



(a) grit type

(b) ball type

Fig. 1 Photographs of sludge

Table 1. Compositions of magnetic abrasive

Magnetic material	Abrasive grain	Grain mesh	Resin (ml/g)
Sludge (200 mesh, ϕ 1.2 mm)	WA GC	1,000	0.20

2.1.2 Sludge이용 자기연마재의 제조

Table 1과 같은 조성으로 구성된 자기연마재 재료의 혼합은 공업적인 대량생산을 위하여 단순혼합을 이용하였다. 연마재로 사용되는 입자의 종류에 따른 자기연마재의 가공특성을 고찰하기 위하여 Table 2와 같은 비율로 혼합하여 제조하였다.

이와 같이 혼합된 자기연마재 원료를 일축나선방식으로 가압성형된 연마재를 185℃의 온도에서 2시간 동안 합성하였다. 이러한 저온합성은 산화방지를 위한 N₂ 분위기 조성이 필요치 않아 대량생산에 적합하며, 이러한 합성공정을 거친 자기연마재는 분쇄기를 통과하여 평균 입도 30 mesh 크기를 가진 분말(grit)형태의 연마재로 제조된다.

그리고 볼(ball)형태의 자기연마재는 입자의 표면에 수지를 입힌 후 환정기에서 연마입자를 부착시킨 후 185℃의 온도에서 120분 동안 합성하여 제조하였다.

Table 2. Compositions of the mixture rate

Magnetic material	Abrasive grain	Composition	Resin (ml/g)	Synthesis temperature(℃)	Synthesis time(min)
Sludge	WA GC	Sludge : WA = 1 : 1 Sludge : G C = 1 : 1	0.20	185	120

2.2 자기연마재 분석

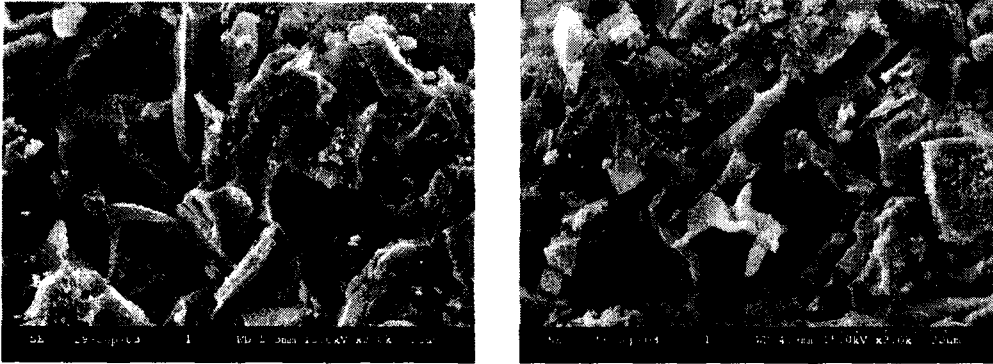
2.2.1 자기연마재의 구조분석

위의 2.1과 같은 공정을 거쳐 제조되어 미립형태를 갖춘 자기연마재의 구조 및 형태를 알아보기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 미세구조를 분석하였다.

Fig. 2는 슬러지와 입도 1,000 mesh의 WA를 결합제 0.20 ml/g의 비율로 혼합하여 제조한 자기연마재의 SEM 사진이다. Fig. 2의 (a)는 자기연마 가공전의 연마재의 미세구조를 나타낸 것으로서 자성재료인 슬러지와 WA 입자가 고르게 분포된 결합제를 통해 강한 결합이 이루어 졌음을 볼 수 있으며, 스톱구성 요소 중의 하나인 기공도 비교적 고르게 분포되었음을 알 수 있다. Fig. 2의 (b)는 일정조건에서의 자기연마 가공이 끝난 후의 미세구조로서 강력한 자기력의 발생에 의한 자기연마가공 중에 입자의 일부가 마모, 탈락, 생성의 자생작용을 거쳐 새로운 연마입자가 생성함을 볼 수 있었다.

또한 Fig. 3은 슬러지와 입도 1,000 mesh의 GC 입자를 결합제 0.20 ml/g의 비율로

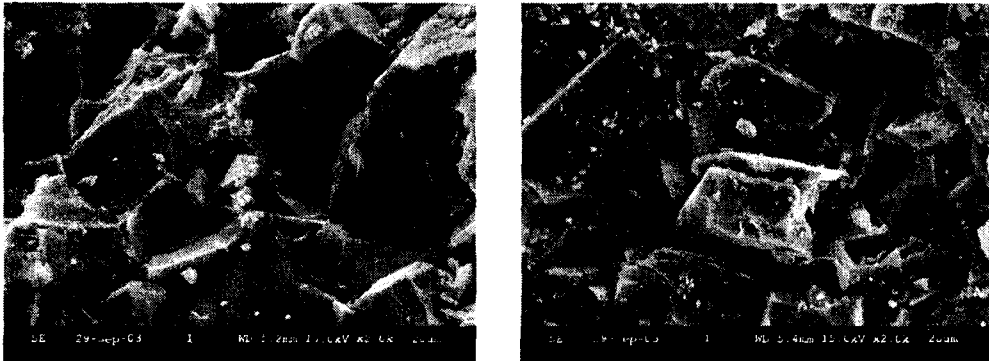
혼합하여 제조한 자기연마재의 SEM 사진으로서 (a)는 자기연마 가공 전, (b)는 가공 후의 미세구조를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Fig. 2의 WA를 사용한 경우와 마찬가지로 자기연마 능력이 우수한 미세구조를 가지고 있음을 알 수 있었다.



(a) before magnetic polishing

(b) after magnetic polishing

Fig. 2 Photo. of magnetic abrasive using WA observed by SEM



(a) before magnetic polishing

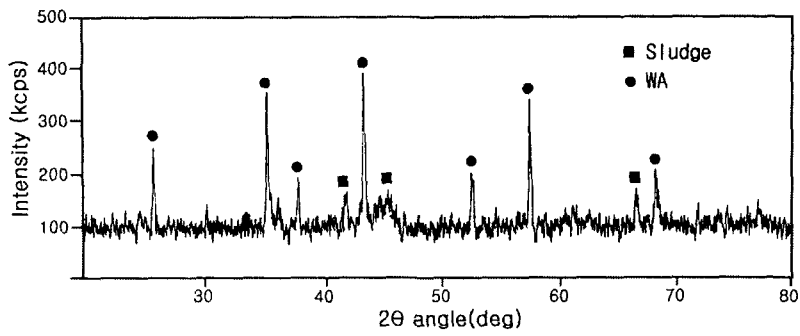
(b) after magnetic polishing

Fig. 3 Photo. of magnetic abrasive using GC observed by SEM

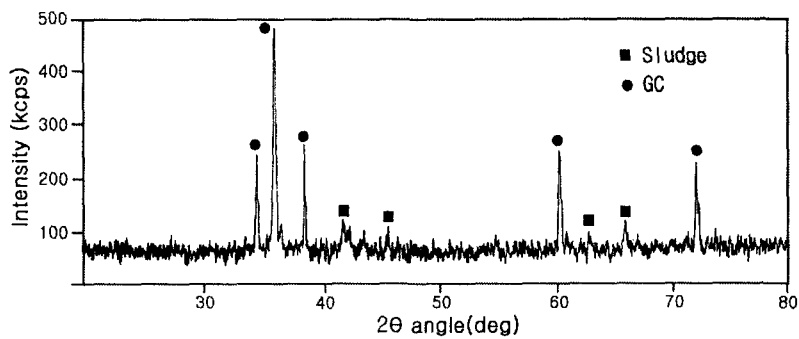
2.2.2 자기연마재의 성분분석

2.1의 Table 2와 같은 구성성분의 혼합비율로 자기연마재가 제조되는 과정에서 합성되는 공정의 영향과 결합제와의 화학반응 등으로 인한 성분 및 구성비율 등의 변화상태를 고찰하기 위하여 X-ray Diffraction (XRD)를 이용하여 성분 분석을 실시하였다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 Sludge와 각각 입도 1,000 mesh의 WA, GC 연마입자를 결합제 0.20 ml/g의 비율로 혼합하여 합성한 후 30 mesh 크기로 제조한 자기 연마재에 대한 XRD 분석결과를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Sludge와 WA 및 GC외에 다른 성분을 나타내는 피크(peak)가 거의 나타나지 않음을 볼 때, 결합제와의 합성 공정으로 인한 화학반응이 발생하지 않았음을 알 수 있다.



(a) Sludge + WA

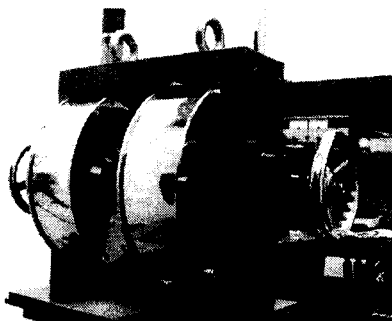


(a) Sludge + GC

Fig. 4 XRD analysis pattern of magnetic abrasive

3. 자기연마재의 자기 특성

본 연구개발을 통하여 제조된 자기연마재의 자기 특성을 알아보기 위하여 Fig. 5의 (a)와 같은 자기력 발생장치를 이용하여 (b)와 같은 구조의 자기연마장치를 이용하여 자기연마 실험을 수행하였다.

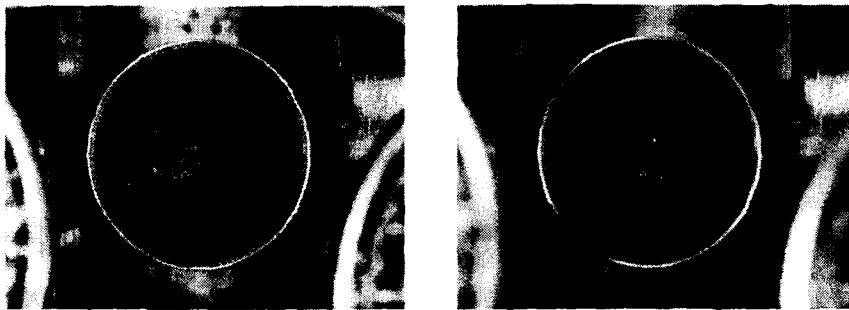


(a) magnetic force generator

(b) experimental equipments

Fig. 5 Photo. of experimental equipments of magnetic polishing

Fig. 5와 같은 자기연마 장치에 비자성체 재료인 STS304 파이프를 장착하고 자속밀도를 6,000 G로 설정한 다음 자기연마재를 투입하여 자기연마 가공을 진행하고 있는 상태를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6의 (a)는 자기력만 인가한 정적인 상태에서의 연마재 거동을 나타낸 것으로서 자기력에 발생된 강력한 브러시의 형성을 볼 수 있으며, (b)는 63.6 m/min의 연마속도로 파이프가 회전하면서 가공이 진행되는 상태에서의 자기연마재 거동을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 동적인 거동에서 전자석에서 발생된 자기력에 의해 자기 브러시가 형성되어 파이프 내면으로 자기연마재를 강하게 끌어 당겨지면서 연마하는 것을 알 수 있으며, 이것은 본 연구에서 개발된 자기연마재가 강자성을 띄고 있음을 의미한다.



(a) static state

(b) rotation state

Fig. 6 Photo. of magnetic brush (magnetic flux density 6,000G)

4. 결론

Sludge를 이용한 자기연마재 개발을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 철강산업 폐기물인 Sludge를 자성재료로 이용하여 우수한 자기특성과 가공효율을 지닌 자기연마재를 개발할 수 있었다.
2. 합성하여 제조된 자기연마재를 분쇄하였을 때 분쇄균열의 경로가 결합제를 통하여 이루어짐을 SEM을 이용한 미세구조 분석결과로 알 수 있었다.
3. XRD를 이용한 자기연마재의 성분분석 결과, 합성공정 및 결합제가 Sludge와 WA 및 GC에 대하여 화학적 반응을 발생시키지 않았다.
4. 본 개발에서 Sludge와 WA, GC입자를 이용하여 제조된 자기연마재에서 Sludge는 자기력 발생장치의 자기장에 의해 자성을 갖게되며, 강자성을 유지함을 자기연마 실험을 통해 알 수 있었다.

감사의 글

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

참고문헌

- 1) 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.
- 2) 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.
- 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, 第 560 号, pp.293~299, 1993.
- 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) Takeo Shinmura, “円筒磁氣研磨法”, 機械技術, 第 44 卷, 第 8 号, pp.108~112, 1996.
- 6) 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.
- 7) Takeo Shinmura, Wadanabe Masado and Won-kyon. Park, “超を超えた超の世界”, 機械技術, 第 46 卷, 第 4 号, pp.72~75, 1998.
- 8) Hitomi Yamaguchi, Takeo Shinmura, “内面磁氣研法における磁性砥粒の特異な挙動と加工能率向上効果”, 機械と工具, pp.89~93, 1999. 3.
- 9) 김희남, 윤여권, 심재환, “STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마”, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.947~952, 2001.
- 10) 김희남, 윤여권, 심재환, “STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마”, 한국산업안전·위생학회 공동학술대회 논문집. pp.179~185, 2001.
- 11) 김희남, 윤여권, 심재환, “자기연마를 이용한 STS304 파이프 내면의 초정밀 가공”, 한국산업안전학회지, Vol. 17, No. 3. pp.30~pp.35, 2002.
- 12) 김희남, 송승기, 정윤중, 윤여권, 김희원, 조상원, 심재환, “Ba-Ferrite를 이용한 자기연마재 개발”, 한국산업안전학회지, Vol. 18, No. 2. pp.46~pp.49, 2003.