

# 미생물 미세가공을 활용한 철의 표면 특성 연구

## Surface characteristics on biomachining of iron

\*조스이스티안토<sup>1</sup>, #고계조<sup>1</sup>, 윤일재<sup>1</sup>

\*Jos Istiyanto<sup>1</sup>, #T. J. Ko(tjko@yu.ac.kr)<sup>1</sup>, I.C. Yoon<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>영남대학교 기계공학과

Key words : micromachining, iron, biomachining, *Thiobacillus*

### 1. 서론

대부분의 가공에는 물리적, 화학적 또는 물리화학적 방법이 이용되어왔다. 자연과학의 기술 분야는 물리학, 화학 그리고 생물학으로 3개의 하위 단계로 나눌 수가 있다[1]. 그러므로 생물학적 가공 기술은 새로운 가공 분야라고 볼 수 있다. 최근 미세가공분야 전반에 환경적인 문제와 전체 가공 비용이 크게 부각되었으며 이런 문제들을 해결할 만한 새로운 기술들이 꾸준히 제시되고 있으며 그 중 하나가 미생물을 이용한 미세가공기술이다. 기존의 다른 가공방법보다 친환경적이라고 알려져 있는 미생물 미세가공의 프로세스는 미생물을 가공 툴로서 활용하여 재료를 가공하는 방법이다[2,3,4]. 미생물을 툴로서 활용하게 되면 높은 에너지 효율, 적은 에너지 소비, 적은 비용 등의 장점이 있다[5]. 또한 미생물을 이용하여 가공을 하게 되면 가공 후 생성되는 표면에 열에 의한 영향이 없을 뿐 아니라 기존의 피삭제에도 물리적인 영향이 없다[1]. 여러 미생물 학자들은 광업과 방사능 폐기물 구난에 이용 가능한 박테리아를 발견하였고 이는 *bioleaching* 이라고 불리어지기도 한다[6]. 이런 종류의 미생물은 산화가 가능하며 그들의 에너지공급원의 일부로 금속의 제거가 가능하여 금속가공으로 활용이 가능하다. 더욱이 이런 종류의 미생물은 Fe, Cu와 같은 산업계의 핵심 금속을 용해하여 재료를 제거할 수 있다[3]. *Thiobacillus*, *Leptospirillum* 계의 미생물은 *bioleaching* 분야에서 가능 중요한 미생물이라고 인정받고 있다. 일반적으로 *Thiobacillus ferrooxidans* 이라고 알려져 있는 *Acidithiobacillus ferrooxidans* 계의 미생물은 몇몇 연구자에 의해 예비 미생물미세가공실험에 이용되기도 하였다. [1-3,7]. 현재 *Acidithiobacillus ferrooxidans* 는 American Type Culture Collection (ATCC) 박테리아 분류 No. 21834로 등록되어 있다. 본 연구에서도 철의 미생물 미세가공 실험에 *Acidithiobacillus ferrooxidans* 이 사용되었다. 본 연구의 목적은 4가지의 다른 가공 시간으로 실험하여 철의 표면거칠기와 재료제거율 변화를 측정하여 비교 분석하는 것이다. 이 두 가지의 매개변수는 향후 미생물미세가공 연구에 중요하게 적용될 것이다. 정밀가공분야에서 미생물미세가공은 가공엔지니어들에게 새로운 패러다임을 제공할 것으로 보인다. 미생물미세가공에 사용되는 박테리아는 구매와 지속적인 배양이 가능하다.

본 논문에서는 박테리아 배양을 포함한 미생물 미세가공 실험과 피삭제의 준비, 그리고 피삭제의 가공 전,후 표면거칠기 및 표면 특성의 변화를 비교한 결과를 포함하고 있다.

### 2. 미생물 미세가공 실험

미생물 미세가공의 진행은 크게 3단계로 구분되어 있다. (1) 박테리아의 배양, (2) 피삭제의 준비, (3) 데이터의 수집과 계산의 과정이 있으며 세부절차 Fig. 2에 자세히 나타나 있다. 먼저 *Acidithiobacillus ferrooxidans* 성장을 위해서는 대략p.H 2.5의 media 와 박테리아 호흡을 위한 전자 교환이 가능한 금속이 필요하다. 1 ml 의 ATCC *Acidithiobacillus ferrooxidans* 는 5 ml 의 9K media와 혼합되며 15 mL 의 9K media 가 담겨있는 튜브가 26°C로 유지되는 인큐베이터 내에서 뚜렷한 색깔 변화가 있을 때까지 수 일간 배양된다. 2

차 배양은 수 일간 배양된 박테리아에서 수 mL 를 추출하여 150 mL의 sterile 9K media 가 담겨있는 250 mL 용량의 Pyrex flasks에 혼합하는 과정이다. 각각의 플라스크는 의료용 거즈로 밀봉되며 멸균과정을 거쳐 실험에 사용된다. 모든 실험과정은 박테리아와의 오염을 방지하기 위하여 일정 방향으로 공기흐름과 High Efficiency Particulate Air (HEPA)가 적용된 전용 후드에서 이루어 진다. 미생물 혼합이 완료된 플라스크는 35°C, 120 cycles per minute의 조건으로 배양된다. 이와 같은 배양을 통하여 개체 수는 4~6일간 증가하며 새롭게 배양된 박테리아는 다음 실험에 사용된다.

미생물 미세가공 실험 후 순철(Fe)의 표면 특성을 알아보기 위하여 지름 22mm, 높이 10mm의 피삭체가 사용된다. 각각의 실험을 위해서 철은 합성수지를 이용하여 반듯한 수직으로 커버 없이 고정된다. 마운팅된 피삭체는 800 grit SiC 연마용 디스크로 폴리싱작업이 진행되며 이후 Scanning Electron Microscope (SEM) 장비로 표면을 측정하게 되는데 이는 가공 전, 후 표면특성을 비교하기 위해서다. 또한 표면거칠기 측정을 위해 표면조도계가 사용된다. 산술평균 거칠기값 Ra는 표면 거칠기의 변화량을 나타낸다. 가공에 이용되기 전 마운팅된 피삭체는 100% ethyl alcohol로 소독과 건조과정을 거치게 된다. 모든 준비를 마친 피삭체는 150mL의 bacterial broth가 담겨있는 실린더에 담겨 가공실험이 진행되며 처음과 비교를 위하여 하나의 실린더는 박테리아 없이 9K media로만 실험이 진행된다. 모든 실린더는 35°C에서 진동 없이 배양되며 각 가공시간 별로 실험이 끝나면 피삭체는 실린더에서 분리되어 증류수로 세척된 후 건조된다. 이 후 가공 전, 후 표면거칠기 및 각종 특성 비교를 위해 SEM과 표면조도계 장비가 다시 사용된다.

재료제거율 실험을 위해서 순도 99.8%, 두께0.025 mm의 Cu foil이 사용되었는데 이는 Fe foil을 구하기 어려움 때문이었다. Cu foil은 10x10mm사이즈로 실험에 사용된다. Foil조각은 알코올로 소독된 후 박테리아 혼합용액 및 sterile 9K media가 들어있는 실린더 속에 가라앉은 상태로 실험이 진행된다. 실험이 끝난 후 실린더에서 분리되어 세척 및 건조된다. 각 실험 시간 별 실험 전, 후 질량 변화를 측정하여 Material Removal Rate (MRR)분석에 활용된다. 가공 후 박테리아 농도변화 측정을 위해 MPN method 가 사용된다.

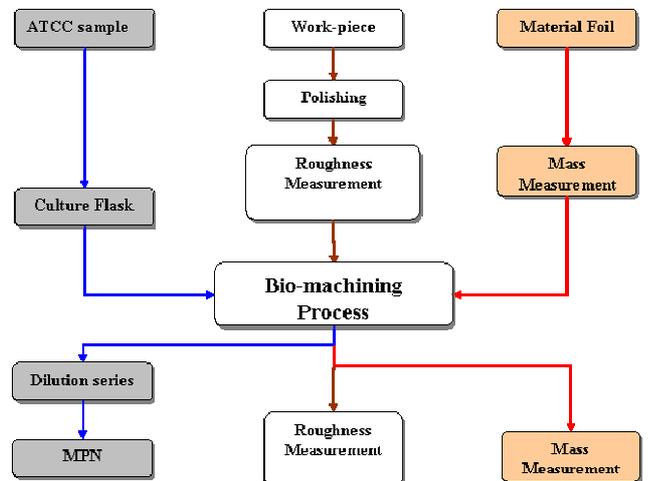


Fig. 1. Biomachining procedure

### 3. 결 과

미생물 미세가공 실험을 거친 피삭제의 표면은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 큰 변화가 있었다. 이와 같은 변화는 모든 가공 시간에 걸쳐 나타났다. 이 같은 변화는 표면 거칠기의 산술평균의 변화 값 Ra 와 일치하였다. 실험시간 별로 6, 12, 18, 24시간의 Ra의 변화량은 아래 Fig. 3에 나타난 바와 같이 각각 2.32, 3.37, 4.43, 5.12  $\mu\text{m}$  였다. 또한 각 6, 12, 18, 24시간 실험에 사용된 피삭제의 초기 Ra 값은 0.072, 0.069, 0.071, 0.072  $\mu\text{m}$  였다. 측정된 Ra값은 6시간부터 24시간 실험까지 선형적으로 증가하였고 모든 결과값은 선행된 그리의 실험 결과 값과는 다른 것을 확인하였다. 구리의 실험의 경우 동일하게 800 grit SiC 연마제로 폴리싱 과정을 거쳤으나 초기 표면거칠기 값은 0.4이였으며 평균적으로 철의 경우보다 Ra 변화량이 적었다. 구리의 실험의 경우 최고 Ra 변화량이 1.5 $\mu\text{m}$ 이였으며 철의 경우 가장 적은 Ra 변화량이 2.32  $\mu\text{m}$  였다.

가공실험 후 발생한 구리의 질량변화는 재료제거율(MRR)테스트에 활용되었다. 미생물 미세가공 실험결과와 비교를 위하여 하나의 실린더는 박테리아 없이 9K media와 Cu foil 만으로 실험이 진행되었고 그 변화량은 0.003g 이하 일 정도로 아주 적은 값이었다. 그 변화는 media의 산성으로 인한 자연적인 변화일 것으로 추측된다. Fig. 4는 6시간부터 24시간 실험까지의 MMR값을 나타내고 있다. 실험 시작시의 박테리아 농도는  $9.3 \times 10^{-7}$  organism/mL이었다.

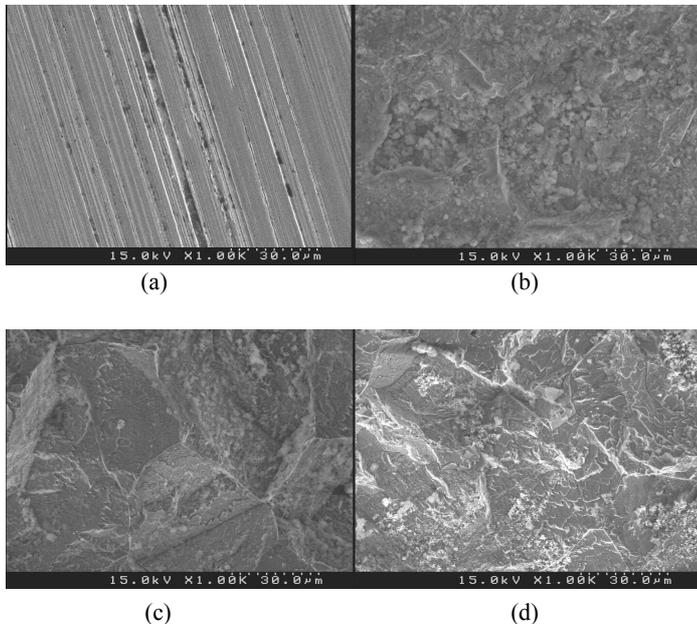


Fig. 2. SEM micrographs with 1k magnification of 800 grit polished surface (a)before machining (b)after 6 hours (c)after 18 hours (d) after 24 hours machining.

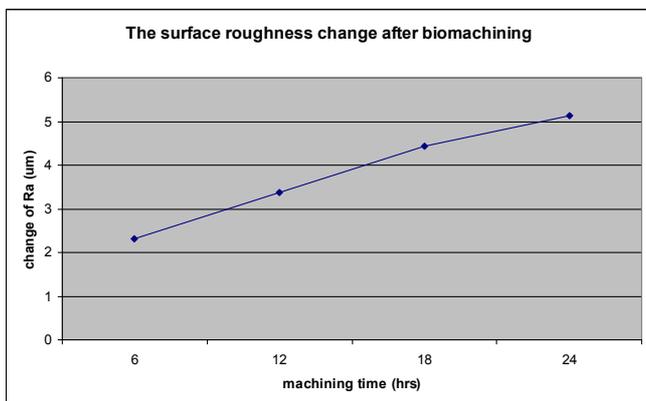


Fig. 3 The change in Ra before and after biomachining process for

different machining time.

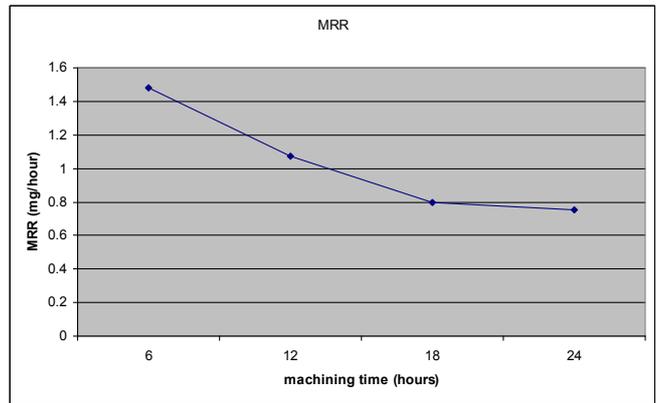


Fig. 4 MRR of biomachining process

### 4. 결 론

본 연구에서 철의 미생물 미세가공으로 인한 표면 특성 변화를 실험적으로 평가하였고 800-grit 로 폴리싱된 피삭제의 표면은 미생물 미세가공으로 인하여 표면의 변화가 생긴것을 확인하였다. 미생물 미세가공으로 인하여 초기 Ra 값 0.07  $\mu\text{m}$  이었던 피삭제가 각각 6, 12, 18, 24 시간 별 실험 후 큰 Ra 변화량을 가지게 되었다. 미생물 미세가공의 MRR 값은 가공 시간이 6 시간에서 24 시간으로 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 초기 박테리아 밀도는  $9.3 \times 10^{-7}$  organism/mL 였다.

### 참고문헌

- Uno, Y., Kaneeda, T., Yokomizo, S., "Fundamental study on biomachining (machining of metals by Thiobacillus ferrooxidans)", JSME International Journal, Series C, Vol. 39, No. 4, pp. 837-842, 1996.
- Zhang, D., Li, Y., "Possibility of biological micromachining used for metal removal", Science in China, Vol. 41, No. 2, pp. 151-156, 1998.
- Johnson, D., Warner, R., Shih, A.J, "Surface roughness and material removal rate in machining using microorganisms", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 129, pp. 223-227, 2007.
- Chang, J. H., Hocheng, H., Chang, H.Y., Shih, A., "Metal removal rate of Thiobacillus thiooxidans without pre-secreted metabolite", Journal of Materials Processing Technology Vol. 201, pp. 560-564, 2008.
- Kurasaki, Y., Matsui, M., Nakamura, Y., Murai, K., Kimura, T., "Material processing using microorganisms (an investigation of microbial action on metals)", JSME International Journal, Series C, Vol. 46, No. 1, pp. 322-330, 2003.
- Rohwerder, T., Gehrke, T., Kinzler, K., Sand, W., "Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation", Applied Microbiology and Biotechnology, Vol. 63, pp. 239-248, 2003.
- Zhang, D., Li, Y, "Studies on kinetics and thermodynamics of biomachining pure copper", Science in China, Vol. 42, No. 1, pp.57-62, 1999.
- Istiyanto, J., Ko, T.J., Yoon, I.C., "Preliminary Study On Metal Micromachining Using Microorganism", Proceeding of KSPE 2009 Spring Conference, pp.459-460, 2009