

자기력 향상을 위한 자기연마공구의 형상설계 및 실험적 연구 Magnetic Flux Density Enhancement by Geometrical Design and Experiments in Magnetic Abrasive Polishing

*김상오¹, 유만희¹, 박자연¹, 하만경², #곽재섭²

*S. O. Kim¹, M. H. You¹, J. Y. Park¹, M. K. Ha², #J. S. Kwak² (jskwak5@pknu.ac.kr)

¹ 부경대학교 대학원, ² 부경대학교 기계공학부

Key words : Magnetic Abrasive Polishing, Magnetic Flux Density, Electro-magnetic Analysis

1. 서론

기계적 성질이 우수한 특수합금강, 스테인레스강, 알루미늄합금 그리고 표면 경화강 등 난삭재들이 기계부품 및 각종 설비용 부품으로 사용되면서 그 품질을 향상시키기 위해 연삭가공의 필요성은 더욱 더 증대되고 있다. 그러나 연삭가공은 각종 가공조건에 따라 얻을 수 있는 제품의 품질은 한계가 있는 실정이다. 이러한 한계를 극복하고자 제시된 방법 중 하나가 전자석을 이용한 자기연마가공법이다.¹ 자기연마법은 기존의 연마방법과 다르게 매우 유연성을 지닌 공구를 사용하여 연마하는 방식이다. 이때 사용되는 공구는 자성의 균일한 입자와 비자성의 연마입자를 결합 또는 단순 혼합하여 사용된다.² 자기연마는 공구의 회전력과 코일에 인가되는 전류에 의해 생성되는 자기력에 의해 공정이 진행되기 때문에 자기력의 세기는 자기연마의 성능과 매우 밀접한 관계를 가진다. 선행 연구를 통하여 전류의 공급량이 클수록 표면거칠기 및 MMR(금속제거율)이 개선된다는 것을 확인 할 수 있었다.³ 하지만 최근 제품의 경량화 및 친환경적인 이유로 활용도가 높은 비철금속 소재에 대해서는 자기력의 세기가 미약하여 자기연마 성능이 현저히 낮은 단점을 가진다. 이러한 현상을 시뮬레이션 및 실험적 검증을 통해 자기력 향상 방안을 제시하고자 한다.

2. 자기연마의 원리 및 자기력 세기

자기력의 세기는 쉽게 자속밀도로 나타낼 수가 있다. 여기서 자속밀도라 자기 마당에 수직인 단위 단면적을 통과하는 자기력선의 수 즉, 자기장 안의 어떤 점에서 자기장에 수직인 단위면적당의 자기력선의 수를 나타낸다. 즉, 전류의 세기가 증가할수록 자속밀도는 증가하기 때문에 다음 식(1)이 성립한다.

$$B = \mu H \tag{1}$$

여기서 B 는 자속밀도(Tesla), μ 는 투자율(H/m), H 는 자장의 세기(A/m)를 나타낸다. 또한 자속밀도는 자장의 세기에 따라 이력곡선(Hysteresis loop)을 따른다. 이러한 자력에 의한 힘의 특성과 공구의 회전력에 의한 접선방향의 힘의 특성이 동시에 작용하여 실제적인 연마가공을 수행한다.

Fig. 1에 도시한 것과 같이 자기연마입자는 법선 방향의 전체 힘 f_n 과 공구의 회전에 의해 발생하는 접선 방향의 전체 힘 f_h 의 합력 f 가 작용하여 연마 가공이 이루어지게 된다. 실제 가공 중 공작물의 표면을 연마하는 요소는 연마입자이다. 이러한 연마 입자 1개는 법선방향의 힘 P_n 과 접선방향의 힘 P_h 를 받게 된다. 따라서 연마 입자가 받는 힘은 아래의 식과 같이 나타낼 수가 있다.

$$f_n = mP_n, \quad f_h = mP_h \tag{2}$$

여기서 m 은 가공 중 공작물에 접촉하는 총 연마입자의 개수를 나타낸다.

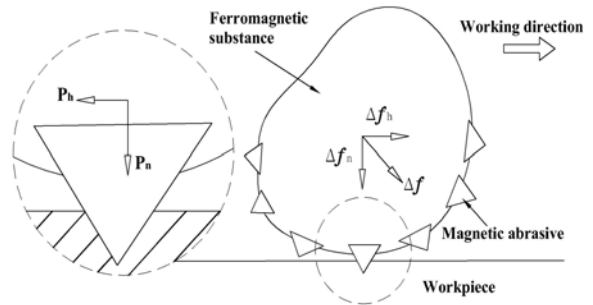


Fig. 1 Cutting force in magnetic abrasive polishing

3. 자기력 형성 시뮬레이션 및 검증

본 연구에서는 UG NX3를 이용하여 자기연마 장치의 인덕터를 모델링하고 ANSYS Workbench 10.0에서 제공하는 EMAG Solution을 이용하여 시뮬레이션 작업을 진행하였다. 적용된 모델은 비자성체인 알루미늄 합금표면에서의 자기력을 자속밀도 값으로 계산하였다. 또한 비자성체의 자기연마에서의 자기력 향상을 위해 적용된 방법과 비교분석 하였다.

Fig. 2는 알루미늄 합금의 표면에 형성되는 자속밀도를 좀 더 효율적으로 증가시키기 위하여 알루미늄 합금의 반대편에 영구자석을 추가로 설치하여 모델링한 화면이다. 이때 적용된 조건은 Table 1에 나타내었다. 그 결과 동일한 전류를 부가하였을 때 영구자석의 설치 전의 최대 2.224e-002Tesla에서 설치 후 최고 3.004e-002Tesla로 상승하였다. Fig. 3에 그 결과 화면을 나타내었다. 이러한 증가의 결과는 단순히 시스템에서 전류만을 증가시키는 것보다 자기력증가를 위한 강자성체를 사용했을 때 더욱 더 효율적으로 자기력을 향상시킬 수 있음을 나타낸다. 이러한 결과를 바탕으로 비자성체의 효율적인 자기연마를 위한 자기력 향상 시스템을 개발할 수 있다.

Table 1 Conditions for magnetic analysis

Items	Conditions
Node	309400
Element	180444
Mesh size	0.005mm
Current	1.5, 2A

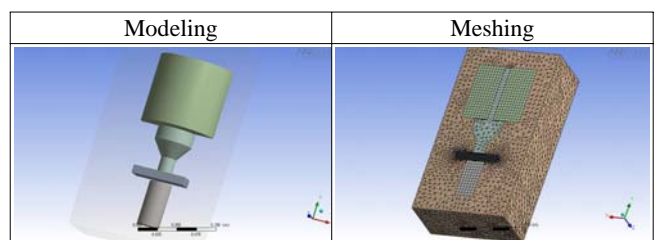


Fig. 2 Design of inductor and mesh condition (permanent magnet)

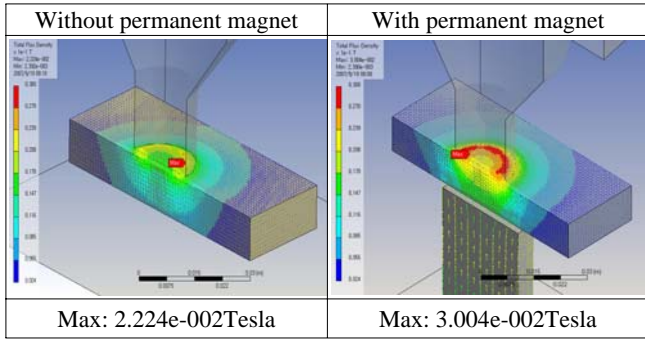


Fig. 3 Magnetic density flux compared with two situations

다음은 자기연마 인덕터 끝단부의 직경에 따른 자기력 형성 특성과 최적의 자기력을 가지는 조건을 선정하였다. Table 2와 같은 조건으로 수행된 해석의 결과 Fig. 4와 같이 직경이 19mm인 경우는 최대 411mT이고 30mm인 경우는 337mT로 나타났다. 자속밀도의 형상의 경우는 두 경우 모두 인덕터의 중심에서 일정거리가 떨어진 부분에서 가장 높은 자속밀도의 분포를 보이고 있음을 알 수 있었다.

수행된 해석에 대한 실험적 검증은 수행하였다. 검증을 위하여 각각 다른 직경을 가지는 3가지 인덕터를 준비하였다. 첫째는 직경이 19mm이고 인덕터의 끝단이 R9로 라운딩 되어있는 형상과 둘째는 직경이 19mm이고 끝단이 평면인 형상 그리고 마지막으로 직경이 30mm이고 끝단이 평면인 형상이다. 검증은 우선 Gauss Meter를 이용하여 해석과 동일한 조건에서 자속밀도를 측정하였다. 자기연마 인덕터의 중심에서부터 5mm 간격으로 자속밀도를 측정하여 Fig. 5에 (a), (b)와 같이 그 결과를 나타내었다. 그 결과 1A의 전류가 통전되는 상태에서는 직경이 30mm인 인덕터의 중심으로부터 5mm인 지점에서 가장 큰 자속밀도인 358mT를 나타내었다. 그리고 직경이 19mm인 인덕터와 중심에서의 자속밀도가 거의 일치하였다. 그리고 전류값이 2A로 상승하였을 경우 직경이 19mm인 인덕터의 경우가 중심으로부터 5mm인 지점에서 직경이 30mm인 인덕터의 자속밀도 보다 높게 나타났다. 전류값이 증가 할수록 단면적에 대한 자속밀도가 반비례하고 있음을 나타내고 있다. 이런 결과를 토대로 높은 전류값이 인가되는 조건에서 인덕터 끝단의 직경을 줄여야 자기력의 세기를 증가 시킬 수 있음을 알 수 있다.

Table 2 Boundary conditions of inductor

Elements size	0.003m
Permeability	10000
Current	1.5A
Working gap	1.0mm

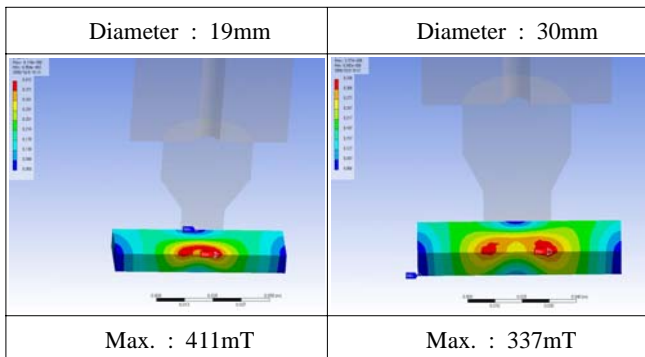
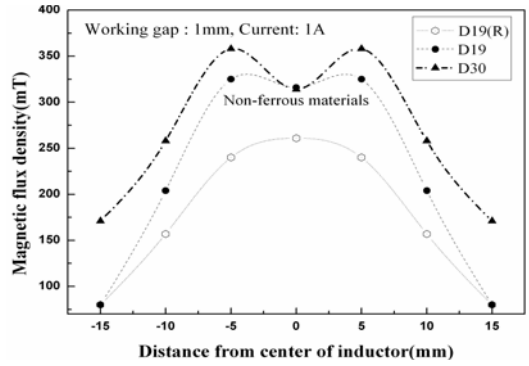
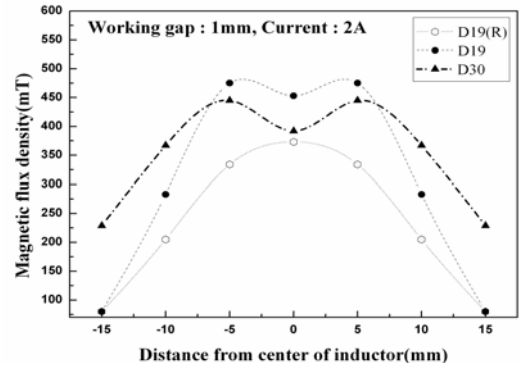


Fig. 4 Magnetic flux density for diameter of inductor



(a) Magnetic flux density at 1A of current



(b) Magnetic flux density at 2A of current

Fig. 5 Magnetic flux density for distance from center of inductor

4. 결론

본 연구에서는 비자성 재료의 효율적인 자기연마를 위하여 ANSYS Workbench를 이용한 자기력 향상방법을 제안하고 이를 토대로 실험을 통한 검증과정을 거쳐 그 결과를 아래와 같이 도출하였다.

1. ANSYS EMAG을 이용하여 해석한 결과 자기연마에서 전류의 증가에 따른 자기력향상보다 영구자석 및 강자성체를 이용한 결과 26%이상의 자기력향상을 얻을 수 있었다.
2. 인덕터의 직경에 따른 해석 결과 전류값이 증가 할수록 단면적에 대한 자속밀도가 반비례하고 있음을 확인하였다. 또한 이런 결과를 토대로 높은 전류값이 인가되는 조건에서 인덕터 끝단의 직경을 줄여야 자기력의 세기를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

후기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0065020).

참고문헌

1. G. W. Chang, B. H. Yan, R. T. Hsu, "Study of Cylindrical Magnetic Abrasive Finishing using Unbonded Magnetic Abrasives", International Journal of Machine Tool & Manufacture, 42, 575-583, 2002
2. D. K. Singh, V.K. Jain, "Analysis of surface texture generated by a flexible magnetic abrasive brush", WEAR, 259, 1254-1261, 2005.
3. Shaohui Yin, Takeo Shinmura "A comparative study: polishing characteristics and its mechanisms of three vibration modes in vibration-assisted magnetic abrasive polishing", International of Machine Tools & Manufacture, 44, 383-390, 2004