

# 노트북 케이스용 마그네슘의 자기연마가공에서 영구자석의 효과

김상오\* · 강대민\*\* ·곽재섭\*\* · 정영득\*\*

\*부경대학교 대학원, \*\*부경대학교 기계공학부

## The effect of permanent magnet in MAP of magnesium alloy for external case of notebook compute

Sang-Oh Kim\* · Dea-Min Gang\*\* · Jae-Seob Kwak\*\* · Young-Deug Jung\*\*

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

**Abstract :** In previous study, it showed that the MAP was greatly effective polishing process for magnesium plate. But it had lower efficiency than magnetic materials such as SM45C. It was very difficult to cut non-magnetic materials using the MAP process because the process was fundamentally possible by help of a magnetic force. This study aimed to verify analytically formation of the magnetic field in a case of the non-magnetic materials especially focused on magnesium plate. So, In this study, the magnetic density flux was predicted using simulation program. As a result, the magnetic density flux was lower at the center of pole on inductor than outside. It had same result on the experimental verification. And magnetic force was lower according to increase of working gap. So, to improve the magnetic force, permanent magnet was installed under the workpiece. In that case, the magnetic density flux not only at center but also at outside of pole was increased. Therefore, the efficiency of magnetic abrasive polishing was also increased. A design of experimental method was adopted for assessment of parameters' effect on the MAP results of magnesium plate for improving the magnetic force.

**Key Words :** Magnetic Abrasive Polishing(MAP), Design of Experiments(DOE), Magnetic Force

### 1. 서 론

마그네슘은 밀도가  $1.74\text{g/cm}^3$ 으로 실용금속 중 가장 가벼운 금속으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 비강도, 치수안정성, 기계가공성, 진동흡수성 및 전자파 차폐성이 우수하여 수송 기계 및 전자제품 등의 구조용 재료로 각광 받고 있다.<sup>1-3)</sup> 그러나 마그네슘 자체가 지니는 높은 산화성 및 폭발성 그리고 해수 및 대기에 의한 내식성 불량과 금수성을 가지는 고유의 성질 때문에 그 사용량은 알루미늄의 1% 정도에 지나지 않고 있다.

이러한 단점의 보완을 위해 반드시 표면처리가 필요한 실정이다. 특히, 마그네슘 합금을 이용한 전자제품 외장 재료의 경우 경량화를 위하여 매우 얇

은 두께를 지니는 판재 제품이 대다수이다. 이와 같은 재료는 특성상 효과적인 표면처리를 위한 연마 가공이 매우 어렵고 폭발성의 위험이 산재해 있다.

따라서 위와 같은 문제점들을 해결함과 동시에 고품위의 표면을 얻기 위하여 마그네슘 합금의 자기연마개발이 진행되고 있다. 자기연마는 고품위의 표면을 얻을 수 있을 뿐 아니라 유연한 공구를 가지고 있는 특성 상 자유곡면에 대한 연마도 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 현재의 자기연마 시스템은 비자성체의 연마과정에서 자성체에 비하여 급격히 그 성능이 저하되는 문제점을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 노트북 케이스제품 생산을 위한 비자성체 마그네슘 합금의 자기연마 성능 향상을 위하여 마그네슘 가공시의 자기력의 특성을 규명하고 자기력향상 방안을 연구하여 이를 실험계 획법을 이용하여 그 특성을 평가하였다.

\* 부경대학교 대학원

\*\* 부경대학교 기계공학부

## 2. 이론적 배경

### 2.1 자기연마 원리

자기연마법의 개략적인 가공 기구는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1과 같이 Steel pole에 코일을 감고 그 코일에 전류를 부가하면 패러데이의 법칙(Faraday's law)에 의해 자기력이 발생하는 공구가 된다. 공구의 끝단과 공작물 사이에 간극을 주고 그 공간에 자성체와 연마입자를 용융하여 분쇄한 후 각각의 자성입자와 연마입자를 일정 비율로 혼합한 혼합형 입자를 슬러리 형태로 공급한다. 전자석에 전류가 부가된 연마공구는 자성입자를 구속하게 된다. 연마공구와 공작물 사이의 자성입자는 사슬구조(로 정렬되며 자성입자의 정렬로 인하여 연마 입자는 자성입자들 사이에 위치한다. 이처럼 사슬구조로 형성된 입자들은 유연성을 가지는 브러쉬 역할을 수행한다. 이 때 자기력이 발생된 Steel pole에 부착된 연마입자와 자성입자들은 Pole이 회전을 함으로 인해서 공작물을 가공 할 수 있는 연마가공을 수행하는 것이다.<sup>4,5)</sup>

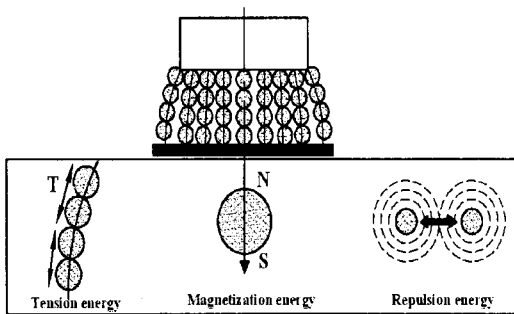


Fig. 1 Concept for micro-magnetic abrasive polishing

### 2.2 자기력의 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.

$$B = \mu H \quad (1)$$

여기에서  $B$ 는 자속밀도(Tesla),  $\mu$ 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. 2에 도시한 것과 같이 자기연마입자는 법선 방향의 전체 힘  $f_n$ 과 공구의 회전에 의해 발생하는 접선 방향의 전체 힘  $f_h$ 의 합력  $f_g$ 가 작용하여 연마가공이 이루어지게 된다. 실제 가공 중 공작물의 표면을 연마하는 요소는 연마입자이다. 이러한 연마입자 1개는 법선방향의 힘  $P_n$ 과 접선방향의 힘  $P_h$ 를 받게 된다. 따라서 연마 입자가 받는 힘은 아래의 식과 같이 나타낼 수가 있다.

$$f_n = mP_n, \quad f_h = mP_h \quad (2)$$

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

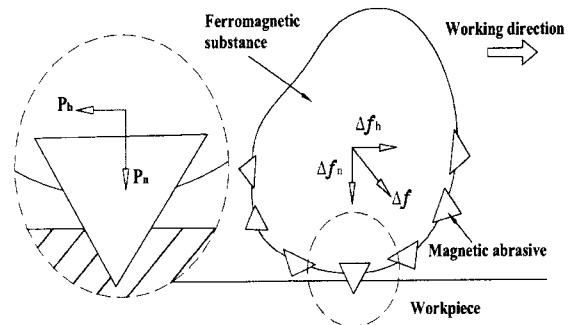


Fig. 2 Cutting force in magnetic abrasive polishing

## 3. 자기력형성 및 향상방안

### 3.1 자기력형성 특성

본 연구에서는 공작물의 표면에 형성되는 자기력 특성을 분석하기 위하여 그래픽 툴인 UG를 이용하여 자기연마 장치의 인덕터를 모델링하고 ANSYS를 이용하여 자기연마 공구부분에 대한 시뮬레이션 작업을 진행하였다.

자기연마 공정에 적용되고 있는 인덕터는 공급되는 전류의 세기에 따라 자기력이 증감하는 양상을 보인다. 따라서 전류세기의 변화에 따른 자력증감 효과를 확인해 보기위한 시뮬레이션을 하였다.

Fig. 3은 인덕터와 공작물로 사용된 마그네슘 플레이트의 표면에 작용하는 자기력의 분포와 크기를

전류의 세기에 변화에 따라 나타내고 있다. 결과적으로 전류의 세기가 0.5A 증가할 때 25mT 증가하고 있음을 나타내고 있으며, 공구의 중심보다 외곽지역에 높은 자속밀도의 분포를 보이고 있다. 이때의 해석조건은 Mesh size가 0.01m이며, 공구직경이 20mm이며, 공구에 권선이 1000회 감겨있을 경우이다.

실제적으로 Fig. 4와 5는 각각 비자성체와 자성체의 표면에 생성되는 자기력의 세기를 공구의 중심 거리에 따라 측정된 결과로 보여주고 있다. 시뮬레이션의 결과와 동일하게 전류의 세기가 증가할수록 전체적인 자속밀도가 높아지며, 공구중심 보다 중심에서 5mm 벗어난 지점에서 가장 높은 자속밀도를 형성하고 있음을 알 수 있다.

그리고 비자성체 재료의 표면에 형성되는 자기력의 세기가 자성체의 경우보다 최고 500mT (2.5A, 중심에서 5mm지점) 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 자성체인 경우가 공구의 외곽에서 자속밀도가 낮아지는 현상이 뚜렷이 나타남을 보여주고 있다. 이렇게 비자성체의 경우 현저히 낮은 자속밀도로 자기연마시 수직압력이 낮아 가공성능이 현저히 저하되는 현상을 나타낸다. 또한 전류세기의 증가에 따른 자속밀도의 향상에도 한계가 있기 때문에 또 다른 자기력 향상방안이 필요하다.

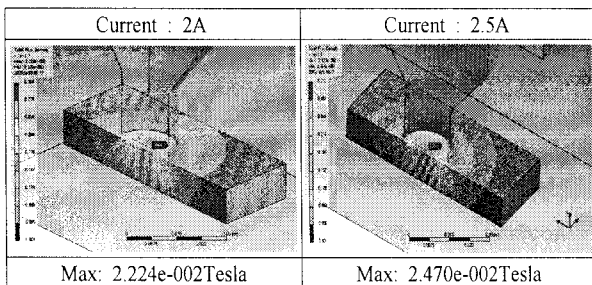


Fig. 3 Magnetic density flux for change of current

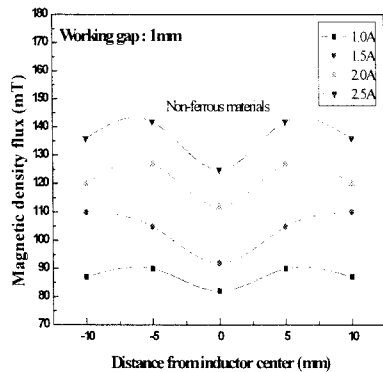


Fig. 4 Magnetic density flux of non-ferrous materials

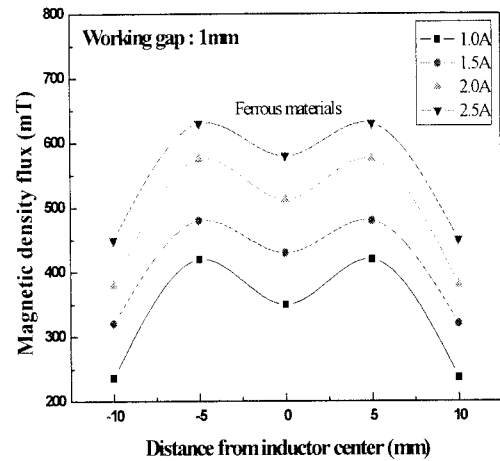


Fig. 5 Magnetic density flux of ferrous materials

### 3.2. 영구자석을 이용한 자기력 향상

Fig. 6은 마그네슘 플레이트 표면에 형성되는 자속밀도를 좀 더 효율적으로 증가시키기 위하여 마그네슘 플레이트 반대편에 영구자석을 추가로 설치하여 모델링한 화면이다. Fig. 7은 그 결과를 보여주고 있다. 결과적으로 최고 80mT의 자속밀도 증가를 보여주고 있다.

실제적으로 비자성체의 반대편에 영구자석을 설치하고 자속밀도 분포를 측정해 본 결과 Fig. 8과 같이 나타났다. 영구자석을 이용하지 않은 경우의 자속밀도 보다 최고 70mT 상승하였음을 보여주고 있다. 이는 시뮬레이션의 결과와 유사하며 전류의 세기를 증가시킨 경우보다도 2배가량 높은 자속밀도 상승을 가져왔다.

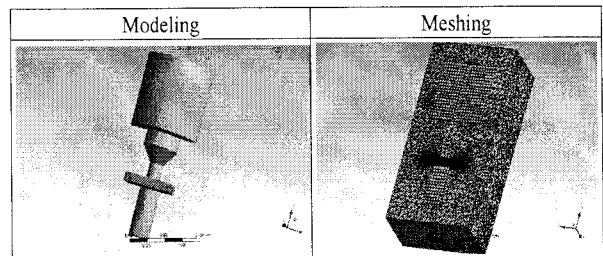
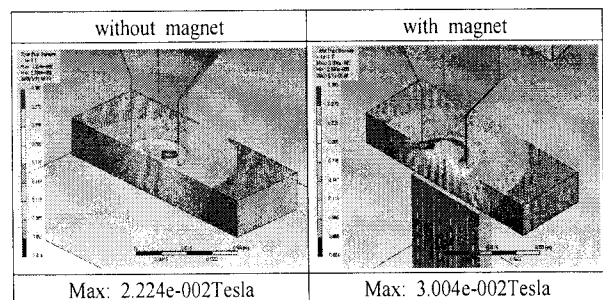


Fig. 6 Modeling and meshing with magnet



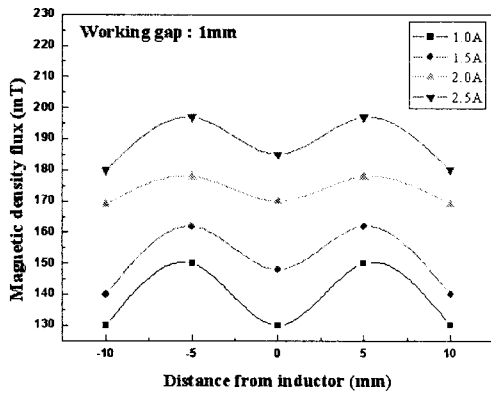


Fig. 8 Magnetic density flux on surface with permanent magnet

## 4. 실험적 평가

### 4.1 실험의 구성

본 연구에서 제시된 영구자석을 이용한 자기력 향상방법을 응용하여 AZ31 마그네슘의 자기연마 실험을 실시하였다. 실험은 각 중요인자들이 마그네슘 합금의 자기연마 공정에 미치는 특성을 평가하기 위하여 실험계획법을 사용하였다.

Fig. 9는 영구자석(네오디움 영구자석)을 이용한 자기력 향상 방안이 적용된 실험 방법에 대한 개략도를 나타내고 있으며 Table 1에 실험조건을 제시하였다. 이때 사용된 자기연마 입자는 평균  $100\mu\text{m}$ 의 Fe powder와 평균  $1\sim 2\mu\text{m}$ 의 Boron nitride 입자를 3대 2의 무게비로 단순혼합하고 입자들간의 응집력을 증가시키고 마찰열을 감소시키기 위하여 미량의 오일을 첨가하였다.

Table 2와 3은 각각 실험에 사용된 인자들과 수준과 실험에 적용된 직교배열표를 나타내고 있다.

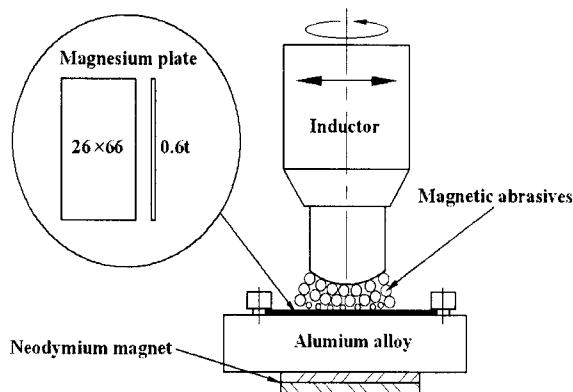


Fig. 9 Experimental setup for MAP of magnesium

Table 1 Experimental conditions

Items	Conditions
Workpiece	AZ31, 26×66mm, 0.6t
Inductor	Ball end ( $\phi 20$ )
Permanent magnet	NdBFe magnet
Working time	15min
Magnetic abrasives	Fe powder + Boron nitride
Feed speed	9m/min

Table 2 Factors and levels used in experiment

Factors	Level		
	1	2	3
Current, A (A)	1.0	1.5	2.0
Working gap, B (mm)	1.0	1.5	2.0
Rotational speed, C (rpm)	800	1000	1200
Amount of powder, D (g)	0.7	1.2	1.7

Table 3 Orthogonal array table for  $L_9(3^4)$

No.	Factors			
	A	B	C	D
1	1	1	800	0.7
2	1	1.5	1000	1.2
3	1	2	1200	1.7
4	1.5	1	1000	1.7
5	1.5	1.5	1200	0.7
6	1.5	2	800	1.2
7	2.0	1	1200	1.2
8	2.0	1.5	800	1.7
9	2.0	2	1000	0.7

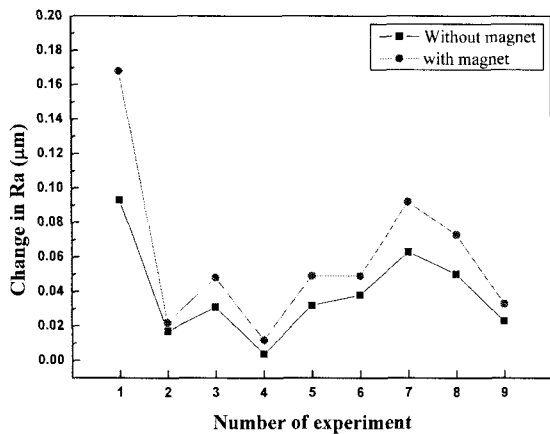
### 4.2 인자의 특성평가

실험의 검증을 위한 결과는 마그네슘 합금 표면의 표면거칠기의 향상정도를 측정하였다. 이를 위해 각 3점에 대한 평균 거칠기 값을 자기연마 공정 전과 후로 측정하여 비교 분석하였다. 그리고 표면거칠기의 향상정도가 크면 클수록 자기연마의 효율이 증가한 것이라 표현할 수 있기 때문에 망대 특성을 이용한 S/N비를 실험에 결과로 이용하였다. Table 4는 이와 같은 표면거칠기 값의 향상정도와 망대특성을 이용하여 계산된 S/N비 값을 나타내고 있다.

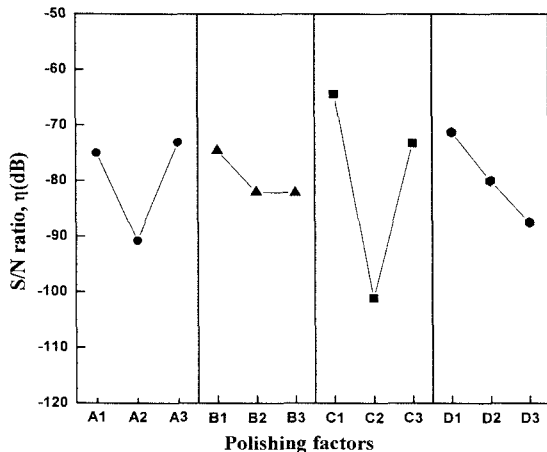
그 결과 Fig. 10과 같이 동일한 실험에서 영구자석을 설치하지 않은 경우보다 설치하였을 때의 표면거칠기 향상정도가 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 자력의 향상이 자기연마의 성능향상에 도움이 되고 있음을 나타낸다.

**Table 4** Experimental result and calculated S/N ratio

No	Before	After	$\Delta Ra$	SN ratio
1	0.358	0.190	0.168	-15.493
2	0.283	0.261	0.022	-33.151
3	0.350	0.302	0.048	-26.375
4	0.272	0.260	0.012	-38.416
5	0.267	0.218	0.049	-26.196
6	0.275	0.226	0.049	-26.196
7	0.284	0.192	0.092	-20.724
8	0.342	0.269	0.073	-22.733
9	0.268	0.235	0.033	-26.629
Average	0.299	0.239	0.060	-26.212



**Fig. 10** Change in  $R_a$  after MAP without and with magnet



**Fig. 11** Influence of factors on MAP of magnesium

그리고 S/N비를 이용한 각 인자들의 영향평가에서는 Fig. 11과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 우선 전류의 량은 2.0A에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있

으며, 공구와 공작물 사이의 간극은 1.0mm일 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으나 표면거칠기에 미치는 영향이 다른 인자들에 비해 매우 작다. 그리고 공구의 회전수는 800rpm에서 표면거칠기의 향상이 두드러짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라 공구의 회전수가 표면거칠기에 미치는 영향이 다른 인자들에 비해 매우 높음을 알 수 있다. 이는 마그네슘 합금 밑에 설치된 영구자석에 의해 자기력에 의한 법선방향의 힘이 증가 하여 이에 준하는 접선방향의 힘이 연마공정에 요구되기 때문이다. 따라서 발생하는 자기력의 힘에 따른 적정한 공구의 회전수 조절이 필요하다. Table 5에서는 각 인자에 대한 분산분석표를 나타내고 있다. 공구의 회전수 인자가 가장 높은 95%의 검증 결과를 나타내고 있으며 공구와 공작물 사이의 간극이 가장 낮은 분산을 나타내어 오차항으로 풀링되었다. 여기서  $F_0$ 가 19.0이상이면 95%신뢰 수준을 나타낸다.

**Table 5** ANOVA for process factors

	SS	DOF	V	$F_0$
A	63.003	2	31.501	5.030
B	(12.524)	(2)	(6.262)	
C	245.509	2	122.754	19.602**
D	43.863	2	21.931	3.502
E	12.524	2	6.262	
Total	321.037	8		

## 5. 결론

본 연구에서는 마그네슘의 자기연마 공정에서 자기력 형성특징을 분석하고 비자성체의 자기연마에서 자기력향상을 위한 기초적인 방안을 제시하고 이를 실험계획법을 통해 각 인자가 표면거칠기의 향상에 미치는 영향을 평가하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 비자성체인 경우 자기력의 세기는 자성체의 자기력의 세기에 비해 최대 500mT 정도 낮게 측정되었으며, 중심에서의 자속밀도가 가장 낮게 나타나는 현상이 두드러진다.
2. 비자성체인 마그네슘의 자기연마에서의 자기력 향상을 위해 영구자석을 설치하였을 경우 그렇지 않을 때에 비해 최대 70mT까지 자기력의 상승효과를 얻을 수 있었다.

3. 영구자석을 설치하여 자기력 향상을 가져왔을 때에 설치하지 않았을 때 보다 표면거칠기 향상정도가 크다. 즉, 비자성체의 자기연마 효율이 증가하였다.
4. 영구자석을 설치한 마그네슘 합금의 자기연마에서 각 주요 인자들이 표면거칠기의 향상에 미치는 영향을 평가한 결과 공구의 회전수가 가장 큰 영향을 미치며 800rpm에서 가장 좋은 표면거칠기의 향상을 가져왔다.

### 참고문헌

- 1) Kim, D. M., Kim, H. S and Park, S. I., Magnesium for Automotive Application, Journal of KSAE, Vol. 18, No. 5, pp.53-67, 1996.
- 2) Sohn, K. Y., The Effect of Heat Treatment and Extruded Mg-Al-Zn Alloy, Material Science Forum, Vol. 419-422, pp.135-140, 2003.
- 3) Hwang, J. K., and Kang, D. M., FE Analysis on the Press Forging of AZ31 Magnesium Alloy, Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 14, No. 1, pp.81-91, 2006.
- 4) Park, W. G., Roh, T. W., Seo, Y. I. Choi, H., Lee, J. C., Jung, S. H. and Chae, S., The Internal Finishing Characteristics of Non-ferromagnetic Pipe Polished by Magnetic Abrasive Machining (II), Journal of the Korean Society of Precision Engineering, pp.960~963, 2001.
- 5) Cho, C. R., Park, S. R., Yang, S. C. and Jung, Y. G., A Study on the Improvement of Performance of High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Grinding Technique 1st Report, Production of Experimental Equipment, Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp.135~138, 2004.