

# 실험 계획법을 이용한 PCB 가공용 마이크로 앤드밀의 수명 평가 Tool life evaluation of micro-end mill for PCB machining Using Design of Experiment

\*박정빈<sup>1</sup>, 김진웅<sup>1</sup>, 김형중<sup>1</sup>, 이길용<sup>1</sup>, 이경태<sup>1</sup>, 박재석<sup>2</sup>, #안성훈<sup>3</sup>

\*J. B. Park<sup>1</sup>, J. W. Kim<sup>1</sup>, H. J. Kim<sup>1</sup>, G. Y. Lee<sup>1</sup>, K. T. Lee<sup>1</sup>, J. S. Park<sup>2</sup>, and #S. H. Ahn(ahnsh@snu.ac.kr)<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부 대학원, <sup>2</sup> ㈜네오티스

<sup>3</sup> 서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소

Key words : Design of Experiment, Micro-end mill, Cutting speed, Feed per tooth

## 1. 서론

## 3. 실험

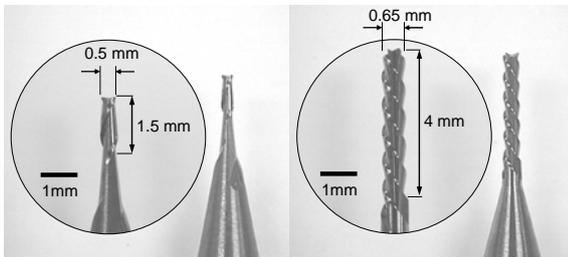
핸드폰, 가전 등의 전자제품의 주요 부품으로 사용되는 PCB (Printed Circuit Board)는 전기 절연성을 가지는 기관의 표면과 그 내부에 전기적인 회로설계를 따르는 도체 패턴을 도전성 재료로 형성하여 고착시킨 것이다. PCB는 각종 전자 부품들을 탑재하는 지지대 이 부품들의 신호를 전달해주는 통로 역할을 한다.<sup>1</sup>

최근 트랜지스터, 고밀도 직접회로 등의 첨단 전자 부품들의 소형화와 함께, PCB 에 사용되는 슬롯(slot)이나 홀(hole)에 대해서도 수백~수십  $\mu\text{m}$  정도의 크기에 높은 신뢰성을 가진 가공이 요구된다. 이를 위해 주로 마이크로 앤드밀(micro-endmill)을 사용하는 CNC(Computer Numerical Control) 가공 장비가 사용된다. 하지만, PCB 가공을 위해 제작되는 마이크로 앤드밀의 경우 기존의 마이크로 앤드밀과는 다른 구조적 특징으로 인해 보다 강건한 가공 조건에 대한 연구가 요구되고 있다.

본 논문에서는 PCB 가공용 마이크로 앤드밀의 신뢰성 있는 가공 길이를 확보하기 위한 가공 조건을 찾기 위해 실험계획법을 사용하여 공구의 사용 수명을 평가하였으며 그 결과를 기반으로 가공 변수들의 영향력을 분석하였다.

## 2. PCB 가공용 공구

일반적인 마이크로 앤드밀과 달리 PCB가공용 마이크로 앤드밀은 공구의 날에 해당되는 부분이 공구의 직경에 비해 길다(Fig. 1). 긴 날 부위를 사용하여 여러 층의 PCB를 가공하여 생산성의 향상을 도모하고 있다. 그러나 이러한 긴 날은 공구에 부하를 많이 주게 되어 공구가 부러지는 현상을 일으키고 있다. Fig. 2는 가공 중에 부러진 마이크로 앤드밀의 형상을 보여준다.



a) General type                      b) PCB machining

Fig. 1 Micro-end mill shapes



Fig. 2 SEM image of broken micro-end mill

### 3.1 실험 계획법

PCB가공에 사용되는 마이크로 앤드밀의 사용 수명을 늘리기 위한 인자의 수준을 찾기 위해 다구찌 방법을 이용하였다. 다구찌 방법의 강건 설계는 잡음인자의 영향을 최소화 하여 품질이 가져야 하는 특성에 맞도록 평가하기 위하여 SN비(Sinal to Noise ratio)를 사용한다. SN비는 입력 신호와 잡음의 비율로 나타낸다. SN비는 목적 함수로 결과 품질의 특성에 따라 정의가 달라지는데, 본 연구에서 이용할 특성인 가공 거리(machining distance)는 그 값이 클수록 좋으므로 망대 특성이다. 망대 특성의 경우 기대 손실  $L(y)=kE(Ly^2)$ 을 작게 해주기 위한 SN비를 식 (1)과 같이 나타낸다.<sup>2</sup>

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서  $n$ 은 측정값의 수를 나타내고  $y_i$ 는 측정된 특성 값에 해당된다.

### 3.2 실험 방법

각 축을 1mm범위 내로 제어가 가능한 마이크로 머시닝 시스템 (Fig. 3)을 이용하였고, 사용된 마이크로 앤드밀 (WETL06, NEOTIS, Korea)의 사양은 Table 1 과 같다. 동박 적층판(CCL-HL832HS, Mitsubishi Gas Chemical Company, Japan)은 반도체 패키지용 기관인 BGA (Ball Grid Array)의 지지판으로 사용되는 재료이며, 모재(workpiece)로 사용하였다. PCB는 고온과 고압하에 동박 적층판을 비롯한 다양한 재료들을 사용하여 제작되기에 기계식 가공에 많은 저항을 줄 수 있다.<sup>3</sup>

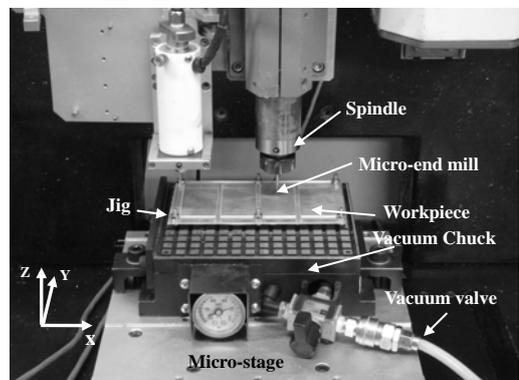


Fig. 3 Micro-machining system

Table 1 Specification of micro-end mill

	Diameter	No. of Flute	Material
Micro-end mill	650 $\mu\text{m}$	3	Cemented carbide

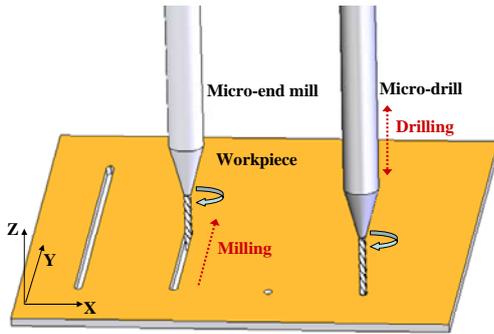


Fig. 4 Process of machining

Table 2 Levels of factors

Factor \ Level	1	2	3
Cutting speed (m/min)	50	60	70
Feed per tooth (mm/tooth)	0.002	0.003	0.004
Layer No. of workpiece (thickness, mm)	3 (0.42mm)	5 (0.70mm)	7 (0.98mm)

Table 3 Orthogonal arrays and experiment results

Exp. No.	A	B	C	Machining distance (mm)	SN ratio
1	1	1	1	12655	82.05
2	1	2	2	3419	70.68
3	1	3	3	2279	67.16
4	2	1	2	3599	71.12
5	2	2	3	2339	67.38
6	2	3	1	14816	83.41
7	3	1	3	1799	65.10
8	3	2	1	17643	84.93
9	3	3	2	3599	71.12

마이크로 앤드밀을 이용한 가공을 진행하기 전에 직경 700 $\mu$ m의 드릴을 사용하여 모재에 홀(hole)을 가공하였다(Fig. 4). 마이크로 앤드밀이 모재에 Z축 이송방향으로 접촉되는 것을 막기 위함이며, 마이크로 앤드밀에 손상을 주지 않기 위해서이다.

실험 인자를 선정하기 위하여 선행 실험을 수행하였다. 절삭 속도(cutting speed, 60m/min), 날당 이송량(feed per tooth, 0.003mm/tooth), 모재 5층(두께0.7mm)의 조건에서 가공을 수행하였으며, 2회의 반복 결과값은 평균 3059mm로 확인되었다.

선행 실험의 가공 조건을 바탕으로 Table 2와 같이 실험 인자와 수준을 선정하여 Table 3에 따라 직교배열표(orthogonal array)를 작성한 후 선행 실험과 동일한 가공 과정을 진행하여 마이크로 앤드밀이 부러지기까지의 가공 거리를 측정하였으며 식(1)을 이용하여 SN 비를 계산하였다(Table 3). A, B, C는 절삭 속도, 날당 이송량, 모재의 층수에 해당된다.

### 3.3 실험 결과 및 분석

Table 3에서 계산된 SN비를 바탕으로 구한 각 인자와 수준별 효과는 Table 4와 같다. 여기서 수준 차(deviation)는 인자의 수준별 효과에 최대값과 최소값의 차이 값이며, 기여율(percentage contribution)은 수준 차의 전체 합에 대한 각 인자의 비율을 백분율로 나타낸 것이다.<sup>4</sup>

Table 4 Response table for SN ratio of the machining distance

Factor	Effect			Deviation	PC (%)
	1	2	3		
A	73.29	73.97	73.72	0.68	3.8
B	73.90	74.33	73.90	0.43	2.4
C	83.46	70.98	66.55	16.92	93.8

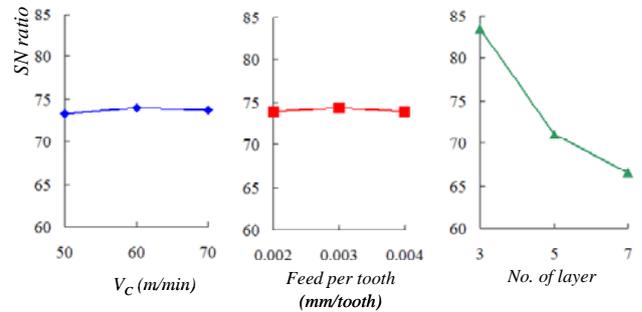


Fig. 5 SN ratio variation of each factor

SN비의 분석결과 가공거리에 가장 큰 영향을 미치는 것은 인자 C였다 (Fig. 5). C인자의 수준이 1에서 2로 변화될 때 SN비의 값이 현격하게 변화되는 것을 알 수 있다. 공구의 파손 시기를 늦출 수 있는 인자를 찾게 되면 A2, B2, C1 이 된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 실험 계획법을 이용하여 PCB가공용 마이크로 앤드밀의 파손 수명을 평가하였다. 절삭 속도, 날당 이송량, 모재의 두께 이상 세가지 요인의 변화를 주어 실험을 진행하였다. 직경에 비해 상대적으로 긴 날 부로 인하여 모재의 두께 변화에 아주 다른 결과를 보였다. 본 실험에서는 모재의 두께가 0.42mm에서 0.70mm로 변화됨에 따라 가공 거리의 값이 현저히 감소 하였으며, 0.70mm에서 0.98mm로 증가함에 따라서도 감소하였지만 그 변화가 전자에 비해 크지 않았다.

실험 계획법을 이용한 실험을 통하여 공구가 파손되는 수명을 증가시킬 수 있는 조건을 확인하였다. 대량 가공되는 PCB의 생산성을 고려, 공구 사용 수명과 연계 되는 연구가 진행되어야 한다.

## 후기

본 연구는 서울대학교 2 단계 BK21 사업, 정밀 기계설계 공동연구소와 (주) 네오티스(Project No. 0420-2007-0053)에 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. 전태보, 김영휘, 마상혁 “시뮬레이션을 이용한 PCB 제조시스템의 수행 능력 분석,” 대한산업공학회, Vol. 6, No. 2, pp. 133-137, 1993.
2. 박성현, “현대실험계획법,” 민영사, pp. 631-657, 2001.
3. Lin, Z. C. and Ho, C. Y., “Performance of coated tungsten carbide tools on milling printed circuit board,” Journal of Processing Technology, In press, Corrected Proof, 2008.
4. Kang, H. J., Kim, H. J., Chu, W. S., and Ahn, S. H., “Laser marking for light guide panel using design of experiment and web-based prototyping system,” Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 97-98, 2006.