

마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽가공의 가공특성에 관한 연구

A Study on the Machining Characteristics for Micro Barrier Ribs by using Micro Endmilling

민승기*, 이선우(충남대 대학원 기계공학과), 이동주(충남대학교 기계공학과),
이응숙, 제태진, 최두선(한국기계연구원)

S. K. Min*, S. W. Lee(Graduate School, Chung Nam Nat'l Univ.),
D. J. Lee(Chung Nam Nat'l Univ.), E. S. Lee, T. J. Je, D. S. Choi(KIMM)

Abstract

Recently, miniaturization and mass production are the main trends in manufacturing fields. Therefore, ultraprecision machining and MEMS technology have been taken more and more important position in machining of microparts. Micro endmilling is one of the prominent technology that has wide spectrum of application field ranging from macro parts to micro products, such as PDP and IT components, in precision products manufacturing. However, the deburring is significant problem in making smooth and precise parts in micro endmilling. This paper shows removal characteristics of burr generated by micro endmilling process. Additionally, it is necessary to understand the formation mechanism of burr of micro barrier ribs to find proper deburring method.

Key Word

Ultraprecision Machining(초정밀 가공), Micro Endmilling(마이크로 엔드밀링), Plasma Display Panel(플라즈마 디스플레이 패널 : PDP), Micro Barrier Rib(미세 격벽), Deburring(디버링)

1. 서론

현재, 첨단산업의 수요와 더불어 광학렌즈, 전자, 통신 및 반도체 부품 등에서 초소형화, 초정밀화, 고품위를 요구하고 있다. 이러한 미세형상부품들은 MEMS기술에 의한 초정밀가공을 통해 고세장비의 다중 미세 구조물, 광학용 부품, 마이크로 채널, PDP(Plasma Display Panel) 등을 가공하여 적용하고 있다. 이들중 PDP는 미세격벽구조로 되어있으며 미세격벽의 크기는 그 제조회사별로 다르게 제작되지만, 대략 40" VGA급 PDP의 경우 미세격벽의 폭 80 μ m, 높이는 150 μ m, 간격은 280 μ m, 의 구조로 가공되어진다. 미세격벽을 가공하는 기존의 방법으로는 일반적으로 샌드블라스팅(Sand Blasting), 감광성 유리(Photosensitive Glass), 스크린 프린팅(Screen Printing), LIGA, Wire EDM등이 사용되어진다. 하지만, 이러한 공정들은 균일한 미세격벽 형성의 어려움과 공정들의 복잡성 때문에 추가적인 비용이 많이 들어가게 된다. 이와 같은 단점들을 보완하기 위하여 최근 홈 가공된 몰드를 이용하여 유리페이스트를 가압 성형하여 제작하는 방법이 현재 개발중에 있다.^[2]

미세격벽을 가진 몰드를 제작하기 위해서는 LIGA의 전주공정이 있으나 비용적인 면에서 실용적이지 못하며 Wire EDM의 경우 그 형상 및 표면 거칠기 측면에서 불리한 공정들이다. 따라서 최근에는 미세부품의 가공에 적용가능한 기계

적 절삭가공법의 개발 및 초정밀 미세가공기의 제작에 많은 초점이 모아지고 있는 추세이다.^[3]

이에 본 연구에서는 위에서 언급한 비용의 감소와 공정들의 개선을 위해 마이크로 머신에 의한 기계적인 가공방법으로서 마이크로 엔드밀을 사용하여 미세격벽의 몰드를 가공하였으며 이때 발생하는 버(Burr)를 효과적으로 감소시키기 위한 방법을 모색하였다.

일반적으로 버라 함은 가공후에 모서리에 발생하는 원치 않는 물체의 돌출된 부분으로 정의 할 수 있으며 절삭 가공이나 편칭 작업 같은 소성변형 결과로써 나타나기도 하고 주조 가공과 같은 경우에서도 발생하며 특히 돌출된 버의 형태는 모서리부의 치수 변화로써 다음 공정에 지장을 주는 경우가 많다.그러므로 일단 발생된 버는 반드시 제거되어야 하며 가능하면 버의 발생이 방지되거나 허용 가능한 최소한의 크기로 생성되도록 유도하는 것이 가장 바람직할 것이다.^[4] 본 실험에서는 위와 같은 조건에 만족하도록 절삭조건과 가공시간을 감안하여 최적조건을 선정할 수 있었다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로 머시닝 시스템

본 실험에 사용된 마이크로 머신은 미세 구조물을 가공하기 위하여 제작된 가공머신으로서 에어베어링 스피들(Airbearing spindle)에 의한 마이크로 드릴링과 밀링이 가능하며 터닝 스피들(Turning spindle)에 의한 마이크로 터닝, 그리고 마이크로 그루브가공도 가능하도록 갖춘 시스템이다. 아래의 Photo. 1은 이러한 마이크로 머신을 보여주고 있으며 Table 1은 가공머신의 구체적인 사양을 나타내었다.



Photo. 1 Micro Machining System

Table 1 Specifications of the micro machining machine

Item		Unit	Specifications
Distance	X/Y/Z Axis	mm	200×200×200
Air bearing spindle	Turning speed	Rpm	Max. 60,000
	Used tool dimension	mm	φ 0.1~6.0
Turning spindle	Turning speed	Rpm	Max. 6,000
	Turning rate	μm	Radius : <0.05, Axis : <0.05
	Strength	N/μm	Radius : 190, Axis : 520
Table	Size	mm	220×220
	Allowable weight	N	890
Feed rate	X/Y Axis	mm/min	Max. 45,000
	Z Axis	mm/min	Max. 45,000
Straightforwardness	X Axis	μm	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
	Y Axis	μm	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
	Z Axis	μm	Horizontal : <0.0025, Vertical : <0.0025
Strength	X/Y/Z Axis	μm/mm	Horizontal : <120, Vertical : <250
Repeated precision	X/Y/Z Axis	μm	<0.1

마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽을 가공시 발생하는 절삭력과 미세격벽의 표면거칠기를 측정하기 위한 시스템의 사양은 Table 2에 구체적으로 나타내었으며 전반적인 가공실험 시스템의 구성은 Fig. 1에 모델링하여 나타내었다.

Table 2 Measuring instrument of experiment for cutting force and surface roughness

Workpiece Size	45×45×15(mm)
Dynamometer	Kistler Co., 9257A2
Amplifier	Kistler Co., 5019B130
Oscilloscope	LeCroy 9304AM
Surface roughness tester	INTEK PLUS Accura 1500M

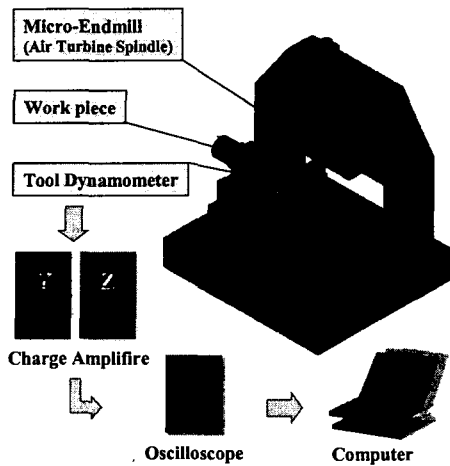


Fig. 1 Experimental apparatus in the micro machining system

2.2 마이크로 엔드밀과 공작물

미세격벽을 가공하기 위하여 사용된 마이크로 엔드밀은 플랫폼타입(Flat type)으로서 그 사양과 형상을 아래의 Table 3과 Photo.2에 나타내었다.

Table 3 Dimensions of micro flat endmill

Material	Carbide
Helical angle	30°
Number of edge	2EA
Diameter of endmill(d_1)	200 μ m
Length of cut(l_2)	400 μ m

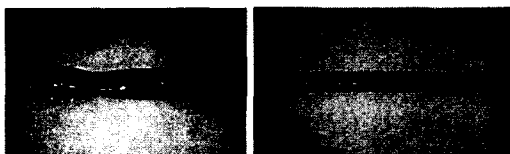
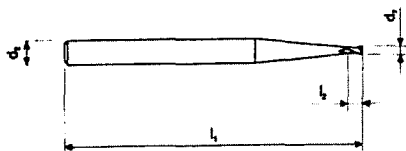


Photo. 2 Carbide micro flat endmill

미세격벽 가공에 사용된 금형소재의 성분은 6:4 황동으로서 금형산업에 폭넓게 사용되고 있으며 아래의 Table 4에 화학적인 성분과 기계적 성질을 나타내었다.

Table 4 Mechanical properties and chemical compositions of workpiece Brass 6:4

Symbol	Composition(%)		Tensile Strength (Kg/mm ²)	Elongation(%)
BsC3	Cu 62-66, Zn, Pb 2.5, Sn 1.0	Fe, Ni, Mn, Al	18 over	18over

3. 마이크로 엔드밀링에 의한 미세격벽가공

미세격벽을 가공하기 위해서 에어베어링 스피들(Airbearing spindle)에 플랫폼타입(Flat type)의 엔드밀을 장착하였다. 미세격벽의 크기는 실제로 상용화되는 PDP의 규격을 감안하여 50, 100, 200, 300(μ m)의 높이가 되도록 가공하였으며 격벽과 격벽 사이의 간격은 200 μ m이다. Fig. 2은 마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽의 가공방법을 모델링하여 나타내었다.

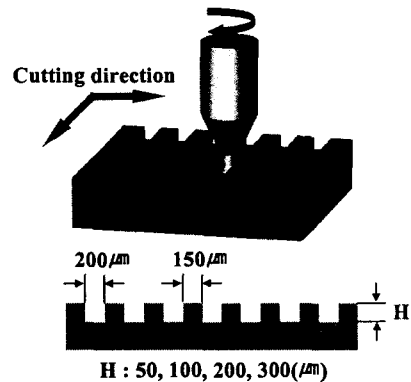


Fig. 2 Schematic of micro endmilling for barrier ribs

가공조건은 주축의 회전수를 40,000rpm으로 고정하였으며 절삭유로는 백등유(Kerosene)를 사용하였다. 그리고 공구 파손을 감소시키기 위해 절입과 피드(Feed rate)를 적절하게 선정하여 조건을 선정하였으며 각각의 조건에 대하여 절입을 10번씩 행하는 가공루프를 실행하여 가공하였다. 아래의 Table 4는 가공실험에 따른 조건을 나타내었으며 마지막으로 절삭유제의 사용유무에 따른 버(Burr)의 발생과 Chip의 형상 및 가공면의 품위를 고찰하고자 절삭유를 급유하지 않은 상태에서 Table 4의 "1"을 가공하였다.

위의 Table 4에서 Feed rate의 단위는 (mm/sec),
Table 4 Condition of experiment for micro endmilling

DOC \ Feed	2	5	10	Rpm	Cutting Oil (Kerosene)
5	1	2	3	40,000	Used
10	4	5	6	40,000	Used
20	7	8	9	40,000	Used
30	10	11	12	40,000	Used

DOC(Depth of Cut)의 단위는(μm)이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 미세격벽가공시 절삭력분석

일반적으로 기계가공시 발생하는 버의 크기에 대한 사실로는 정량적인 모델로부터 절삭저항이 클수록 버의 크기가 커진다는 사실을 알 수 있으며 절삭저항을 크게 하는 모든 요소는 버의 크기를 증가시킨다. 그러므로 버의 크기를 작게 하기 위해서는 최종공정에 의한 절삭깊이의 감소와 공구경사각의 증가 또는 공구반경의 감소를 들 수 있으며 절삭유제의 적절한 사용으로 공구 경사면의 마찰감소를 들 수 있다.^[4] 마찰감소를 위한 다른 조건으로는 공구경사면의 면조도를 향상시켜 마찰을 감소시키는 방법도 있으며 이와 같은 조건들은 절삭력을 감소시켜 버의 크기를 작게 하는데 직접적인 원인으로 작용된다.

Table 4에서 알 수 있듯이 본 실험에서는 마이크로 엔드밀(Micro endmill)에 의한 미세격벽 가공시 위에서 언급한 가공조건 중 절입깊이(Depth of Cut)와 피이드비율(Feed rate) 그리고 절삭유제의 사용유무에 따른 버의 형상 및 발생량을 고찰하고자 공구동력계를 사용하여 절삭력을 검출하였다.

절삭력 검출은 공구의 진행방향인 X-방향(F_x)과 공구의 회전방향인 Y-방향(F_y)에 대해 검출하였으며 가공조건에 따른 미소한 절삭력의 크기가 비교적 뚜렷하게 나타나는 절입깊이 $5(\mu\text{m})$ 과 절입깊이 $30(\mu\text{m})$ 의 결과를 아래의 Fig. 3.1~3.3의 그래프로 나타내었다. 그래프의 X축에 표기된 숫자들은 Table 4에서 나타낸 가공조건을 의미한다.

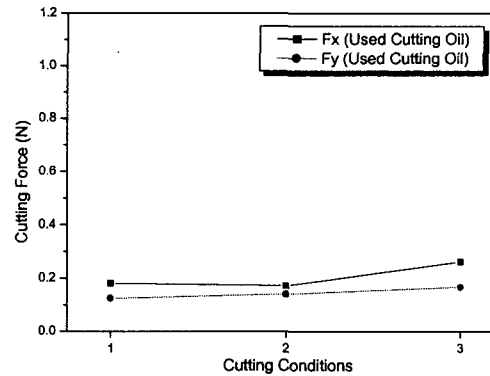


Fig. 3.1 Cutting forces variation when a Depth of cut is $5(\mu\text{m})$ and Feed rate 2 to $10(\text{mm}/\text{sec})$

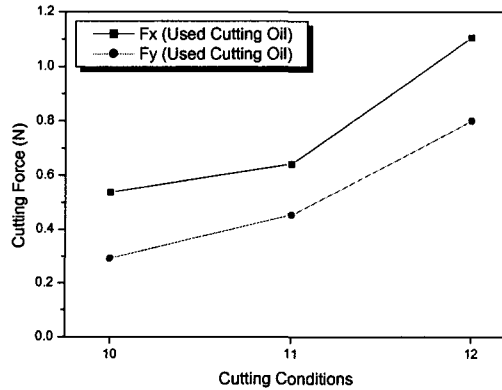


Fig. 3.2 Cutting forces variation when a Depth of cut is $30(\mu\text{m})$ and Feed rate 2 to $10(\text{mm}/\text{sec})$

아래의 Fig. 3-3는 절삭력이 가장 작게 나타난 Table 4의 "1" 가공조건에서 절삭유제의 사용유무에 절삭력의 크기를 비교하였다.

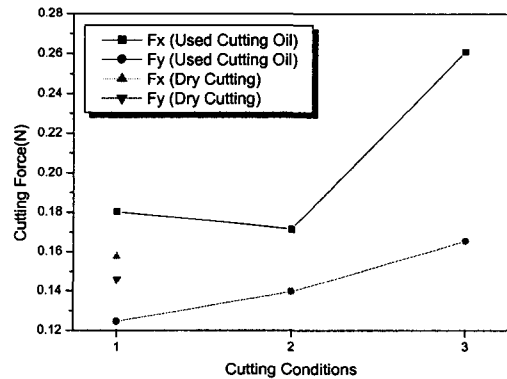


Fig. 3.3 Cutting forces variation when used cutting oil and dry cutting(Depth of cut : $5\mu\text{m}$, Feed rate : $2\text{mm}/\text{sec}$)

Fig. 3.3에서 알 수 있듯이 미소한 차이지만 절삭 유제의 사용유무에 따른 절삭력의 분포를 쉽게 알 수 있다. 절삭유제를 사용한 경우 F_x 와 F_y 의 힘의 변위가 비교적 명확하게 나타났으며 특히, F_x 에 비해 F_y 의 절삭력을 상대적으로 감소시키는 효과를 볼 수 있었다. 절삭유제를 사용하지 않은 경우 F_x 와 F_y 의 힘의 변위는 서로 비슷한 위치에서 검출되었으며 절삭력의 크기는 절삭유제를 사용한 F_x 에 비해 대략 12.7%의 감소효과를 얻을 수가 있었고 F_y 의 경우 약 17.4% 상승하였음을 볼 수 있다. 이러한 절삭력의 분포는 본 실험에서 절삭유제를 사용하지 않은 상태에서 40,000rpm으로 고속회전하는 마이크로 엔드밀에 의한 가공과 황동의 특성 때문에 얻어진 결과라고 추측된다.

4.2 미세격벽에 발생된 버의 형상 관찰

Photo. 3은 Table 4의 실험조건으로 마이크로 엔드밀(Micro endmill)을 사용하여 미세격벽을 가공하였을 때 발생하는 버의 형상을 관찰한 것이며 Photo. 3의 숫자들은 Table 4의 가공조건을 의미한다. 그리고 피이드비율(Feed rate)에 의한 공구가 지나간(Tool path) 바닥면과 미세격벽의 측면의 거칠기도 가시적으로 볼 수 있도록 관찰하였다. Photo. 3의 결과에서 알 수 있듯이 미세격벽의 윗 면에 발생하는 버의 형상은 위치로만 분석할 경우 사이드 버(Side burr)이지만 발생원 리로는 포아손 버(Poisson burr)와 롤오버 버(Rollover burr)의 복합으로 보는 것이 좋을 듯하다.^[4] 이것은 엔드밀의 헬릭스 각(Helix angle)으로 인한 복합형상에 기인되는 것이라 여겨진다. Photo. 3에서 버의 발생량과 크기에 있어서는 절입이 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으며 이 원인은 절삭력 증가에 따른 일반적인 사항이라 판단된다. 버의 발생을 최소화하기 위해서는 가공조건에서 피이드비율을 줄이는 것도 바람직한 방법이라 볼 수 있으며 이러한 방법은 주로 절삭저항을 줄여 버의 크기를 최소화 하는데 있어서 효과적으로 작용되는 요소이다. 피이드비율에 의한 버의 발생비율에 대해서는 절입깊이에 따라 다소 차이를 보이지만 본 실험에서는 피이드 비율이 2(mm/sec)일 경우보다

5(mm/sec)가 적게 발생됨을 볼 수 있었다. 아래의 Photo.3에서 알 수 있듯이 가공조건에 따른 적절한 피이드의 비율은 버의 발생을 감소시킬수 있음을 보여 주고 있다.

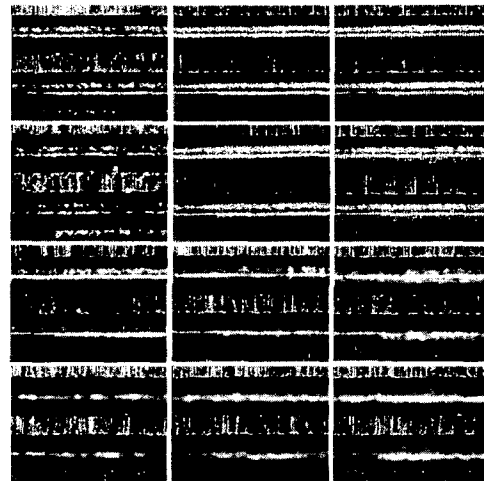


Photo. 3 Barrier ribs form variation when the micro endmilling

4.3 피이드비율에 따른 가공면의 표면조도

아래의 Photo. 4는 피이드 비율(Feed rate)에 따른 공구가 지나간 바닥면과 미세격벽측면의 표면거칠기의 형상을 보여 주고 있다. Photo. 4에서 볼 수 있듯이 피이드가 작을수록 바닥면과 미세격벽측면의 거칠기가 뚜렷하게 적어짐을 볼 수 있다.

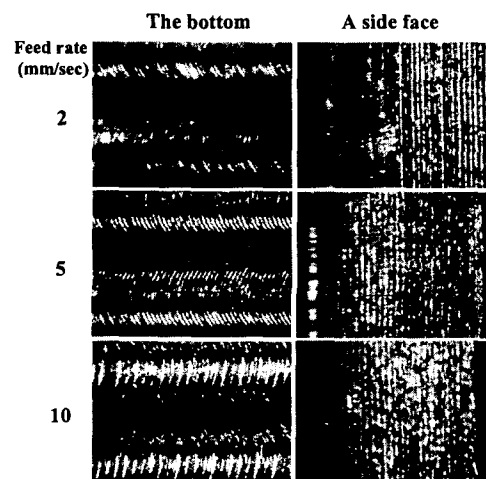


Photo. 4 Comparison of surface roughness for the bottom and a side

Fig. 4는 Photo. 4에서 피이드 비율에 따라 관찰되어진 공구가 지나간 바닥면과 미세격벽측면의 표면거칠기를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 바닥면의 경우 공구의 전진방향인 X방향과 공구의 회전방향인 Y방향을 측정하였으며 미세격벽측면의 경우 X방향과 절입깊이 방향인 Z방향을 측정하였다. 바닥면의 경우 피이드를 2(mm/sec)로 가공하였을 때 표면거칠기값인 Ra가 30nm까지 도달하였으며 이러한 가공면의 품질은 연마가공의 효과에서 얻을 수 있는 경면과 비슷한 수준에 이른다.

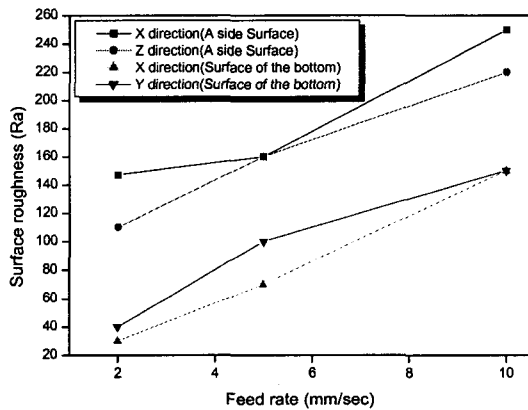
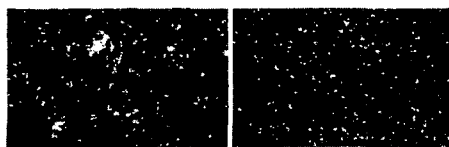


Fig. 4 Comparison of roughness for the bottom and a side

4.4 절삭유제의 사용유무에 따른 칩의 형상

Photo. 5는 본 실험에서 절삭력이 가장 작게 검출되는 가공조건인 Table 4의 "1"에서 절삭유제 사용유무에 따른 칩의 형상을 보여 주고 있다. 본 실험을 통해 알 수 있는 절삭유제의 가공 효과로는 절삭유제를 사용한 Photo. 5의 (a)와 같은 경우 유동형 칩의 형상을 보여주고 있으며 절삭유제를 공급하지 않은 (b)에서는 부서진 칩형상을 볼 수 있다. 이러한 형상은 마이크로 드릴링에서도 찾아 볼 수 있으며 가공조건에 따른 적절한 절삭유제의 사용은 버의 발생을 감소시킬 수 있음을 보여준다.^[5]



(a) Cutting oil supplied (b) Dried

Photo. 5 Comparison of chip form

5. 결론

본 실험에서 마이크로 엔드밀을 사용하여 미세격벽의 몰드를 가공시 발생하는 절삭력과 버 발생량의 상관관계 및 형상을 분석하였으며 절삭유제의 사용유무에 절삭력의 크기와 가공면의 품질도 고찰하였다.

(1) 절삭력의 크기는 절입깊이 5(μm), 피이드 2(mm/sec)가 가장 작게 검출됨을 알 수 있었으며 이와같은 조건에서 가공면의 품질은 미세격벽의 바닥면의 경우 표면 거칠기 값이 연마가공에 의한 수준인 Ra 30nm까지 도달할 수 있었다.

(2) 미세격벽 윗면 가장자리(Edge)부의 버의 감소는 피이드 5(mm/sec)가 피이드 2(mm/sec)보다 다소 향상되는 경향을 보였다. 원인은 40,000rpm으로 고속회전하는 마이크로 엔드밀과 황동의 특성, 피이드의 영향이라 생각되며 가공 조건에 따라서 피이드를 적절하게 높이는 것도 버의 발생을 감소시키는 중요한 방안이라 생각된다. 이 밖에도 적절한 절삭유제 사용에 의한 효과로는 절삭력 저하와 버의 크기 감소효과 그리고 유동형 칩 형상을 얻을 수 있었다.

(3) 본 실험에서 미세격벽가공시 발생하는 버의 형상으로는 위치로만 분석할 경우 사이드 버(Side burr)에 해당되지만 발생원리로는 포아송 버(Poisson burr)와 롤오버 버(Rollover burr)의 복합으로 보는 것이 좋을 듯 하며 이것은 마이크로 엔드밀의 헬릭스 각(Helix angle)으로 인한 복합형상에 기인되는 것으로 여겨진다.

참고 문헌

- [1] M. Rahman, A. Senthil Kumar, J.R.S. Prakash, "Micro milling of pure copper", Journal of Materials Processing Technology 116(2001) 39-40
- [2] 류재화, "PDP Cell 구조와 격벽형성기술", 평판 디스플레이 기술 심포지엄
- [3] 이용숙, 제태진, 최두선, 강재훈, 신영재, 이현용 "미세금형 가공기술 개발 1단계 2차년도 보고서", 산업자원부, Aug 2001
- [4] 고성림, 버 형성원리의 이해와 적정 버 제거 방법의 선택, 기계기술, Vol. 23, No. 7
- [5] 민승기, 이용숙의 "마이크로 드릴링 M/C에 의한 미세구멍가공특성에 관한 연구" 한국공작기계학회지 pp.275-280, Apr 2001