

마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽가공의 가공특성에 관한 연구

민승기*, 이선우⁺, 이동주⁺, 이응숙⁺⁺, 제태진⁺⁺
(논문접수일 2001. 12. 19, 심사완료일 2002. 2. 27)

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

Seung-Ki Min*, Sun-Woo Lee⁺, Dong-Ju Lee⁺, Eung-Sook Lee⁺⁺, Tae-Jin Jae⁺⁺

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, decreasing of burr is significant problem in making smooth and precise parts in micro endmilling. This paper shows removal characteristics of burr generated by micro endmilling process. This results satisfies micro endmilling for micro barrier ribs of heights is 50 μ m, 100 μ m, 200 μ m, 300 μ m, and observation form of burr. Additionally, it is necessary to understand the formation mechanism of burr of micro barrier ribs to find proper decreasing method.

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

1. 서 론

현재, 첨단산업의 수요와 더불어 광학렌즈, 전자, 통신 및 반도체 부품 등에서 초소형화, 초정밀화, 고품위를 요구하고 있다. 이러한 미세형상부품인 다중 미세 구조물, 광학용

부품, 마이크로 채널, PDP(Plasma Display Panel)등은 MEMS(Microelectromechanical system)기술에 의해 가공되어지고 있다. 이들중 PDP는 미세격벽구조로 되어있으며 미세격벽의 크기는 그 제조회사별로 다르게 제작되지만, 대략 40 " VGA급 PDP의 경우 미세격벽의 폭 80 μ m, 높이

* 주저자, 충남대학교 기계공학과 (momo1223@hanmail.net)
주소: 305-764 대전시 유성구 궁동 200번지, Tel: 042-868-7038
+ 충남대학교
++ 한국기계연구원

는 150 μ m, 간격은 280 μ m의 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⁽¹⁾.

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 기계적 절삭가공법의 개발 및 초정밀 미세가공기의 제작에 많은 초점이 모아지고 있는 추세이다⁽²⁾.

이에 본 연구에서는 위에서 언급한 비용의 감소와 공정들의 개선을 위해 마이크로 머신에 의한 기계적인 가공방법으로서 마이크로 엔드밀을 사용하여 미세격벽의 몰드를 가공하였으며 이때 발생하는 절삭력과 버(Burr)의 형상 및 발생량, 그리고 가공면의 품질을 관찰하여 가공특성을 고찰하였다.

일반적으로 버라 함은 가공후에 모서리에 발생하는 원치 않는 물체의 돌출된 부분으로 정의 할 수 있으며, 절삭 가공이나 펀칭 작업 같은 소성변형 결과로써 나타나기도 하고 주조 가공과 같은 경우에서도 발생하며 특히 돌출된 버의 형태는 모서리부의 치수 변화로써 다음 공정에 지장을 주는 경우가 많다⁽³⁾. 그러므로 발생된 버는 반드시 제거되어야 하며 가능하면 버의 발생이 방지되거나 허용 가능한 최소한의 크기로 생성되도록 가공조건을 선정하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 각각의 가공조건에 따른 버 발생량 분석시 버 발생이 감소되는 경향에 대해서도 고찰하였다.

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.

Photo. 1은 이러한 마이크로 머신을 보여주고 있으며

Table 1은 가공머신의 구체적인 사양을 나타낸다.

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	μ m	Radius : <0.05, Axis : <0.05
	Operating pressure	bar	6.2
Table	Flow consumption	NI/min	34
	Size	mm	220×220
Feed rate	Allowable weight	N	890
	X/Y Axis	mm/min	Max. 4,500
Straightness	Z Axis	mm/min	Max. 4,500
	X Axis	μ m	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
	Y Axis	μ m	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
Operating pressure	Z Axis	μ m	Horizontal : <0.0025, Vertical : <0.0025
	X/Y Axis	bar	6.2
Repeated precision	X/Y/Z Axis	μ m	<0.1



Photo. 1 Micro machining system

Table 2 Measuring instruments 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

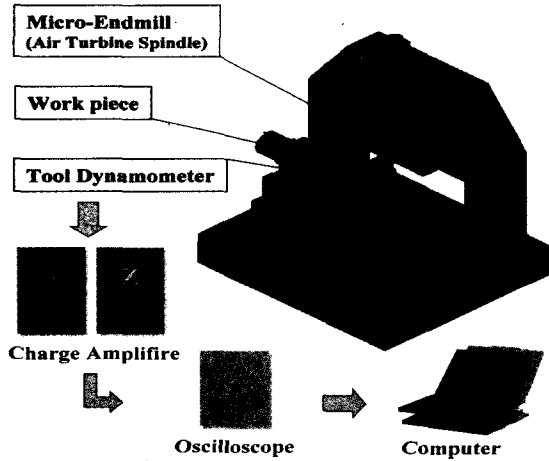


Fig. 1 Experimental apparatus in the micro machining system

마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽 가공시, 발생되는 절삭력과 미세격벽의 표면거칠기를 측정하기 위한 시스템의 사양은 Table 2에 구체적으로 나타내었으며, 전반적인 가공 실험 시스템의 구성은 Fig. 1에 모델링하여 나타내었다.

2.2 마이크로 엔드밀과 공작물

미세격벽을 가공하기 위하여 사용된 마이크로 엔드밀은 플랫폼타입(Flat type)으로서 그 사양과 형상을 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

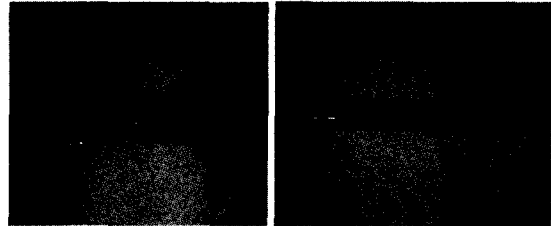
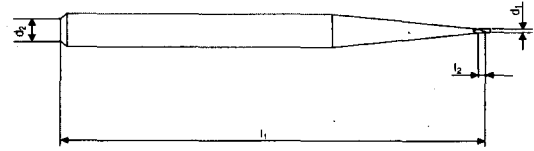


Photo. 2 Carbide micro flat endmill

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 29-32, Pb 2.5, Sn 1.0 (Fe, Ni, Mn, Al)2.0	18 over	18over

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

3. 마이크로엔드밀링에 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 m이 되도록 가공하였다.

Fig. 2는 마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽의 가공방법을 모델링하여 나타낸 것이다.

가공시 주축의 회전수는 40,000rpm으로 고정하였으며 절삭유로는 백동유(Kerosene)을 사용하였다. 그리고 공구 마모에 의한 공구 파손과 절삭력 변동을 감소시키기 위해 마이크로 엔드밀을 제한적으로 사용하여 교체하였다⁽⁴⁾.

절삭깊이와 이송속도(Feed rate)의 조건은 가공시간과 공구파손을 고려하여 적용하였으며 각각의 조건에 대하여 절

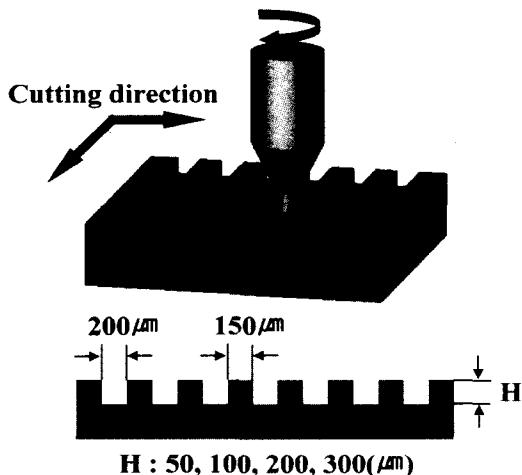


Fig. 2 Schematic of micro endmilling for barrier ribs

Table 5 Conditions of experiment for micro endmilling

Feed DOC	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

입을 10번씩 행하는 가공루프를 실행하여 미세격벽을 가공하였다.

Table 5는 미세격벽을 가공하기 위한 가공조건을 나타낸 것이며 이송속도(Feed rate)의 단위는 mm/sec, 절삭깊이(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 공구 경사각의 증가 또는 공구반경의 감소를 들 수 있으며 절삭유제의 적절한 사용으로 공구 경사면의 마찰감소를 들 수 있다⁽³⁾.

마찰감소를 위한 다른 조건으로는 공구경사면의 면조도를 향상시켜 마찰을 감소시키는 방법도 있으며 이와 같은 조건들은 절삭력을 감소시켜 버의 크기를 작게 하는데 직접적인 원인으로 작용된다.

Table 5에 명시된 가공조건은 마이크로 엔드밀(Micro endmill)에 의한 미세격벽 가공시 위에서 언급한 가공조건 중 절삭깊이(Depth of cut)와 이송속도(Feed rate), 그리고 공구경사면의 마찰감소효과를 통해 버의 크기를 감소시키고자 가공시 절삭유제를 사용하였다.

가공시 발생하는 절삭력은 버의 형상 및 발생량에 의한 상관관계를 분석하기 위해서 고감도(High sensitivity)의 기능을 가진 공구동력계를 사용하여 절삭력을 검출하였다.

절삭력 검출은 공구의 진행방향인 X-방향(F_x)과 공구의 회전방향인 Y-방향(F_y)에 대해 검출하였으며 가공시 발생하는 절삭력의 크기가 다소 미소하지만 일반적인 가공현상에서 알수 있듯이 절삭깊이와 이송속도가 작을수록 F_x 와 F_y 가 감소하는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 3~6은 Table 5의 가공조건에 의해 가공되어진 절삭력의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

그래프의 X축에 표기된 번호들은 Table 5의 가공조건을 의미한다. 예를 들어 Table 5에서 1의 의미는 절삭깊이 5 μm , 이송속도 2mm/sec를 뜻한다.

4.2 버의 형상 관찰 및 크기고찰

Photo. 3은 Table5의 실험조건에 의해 가공되어진 미세격벽을 나타내고 있으며 이때 발생되어진 버의 형상을 관찰

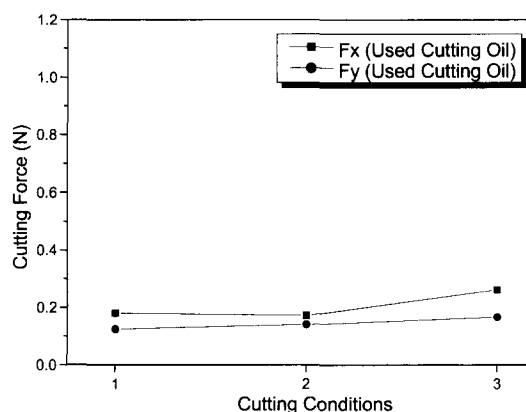


Fig. 3 Cutting forces variation the time in depth of cut is 5 μm and feed rate 2 to 10mm/sec

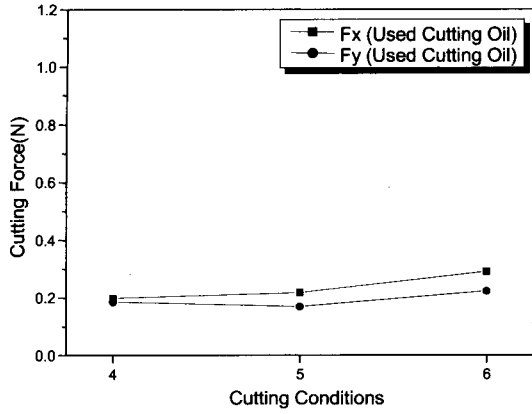


Fig. 4 Cutting forces variation the time in depth of cut is $10\mu\text{m}$ and feed rate 2 to 10mm/sec

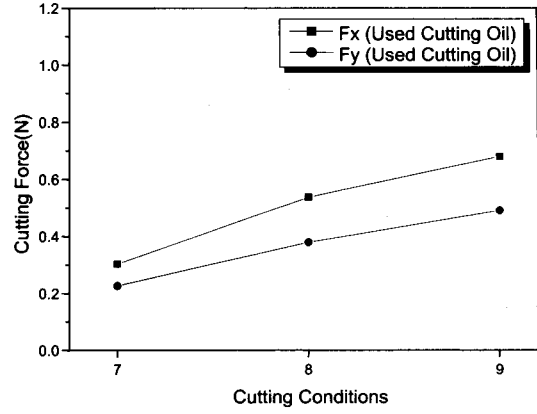


Fig. 5 Cutting forces variation the time in depth of cut is $20\mu\text{m}$ and feed rate 2 to 10mm/sec

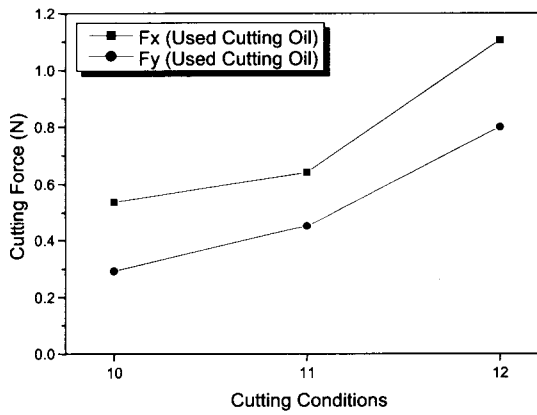


Fig. 6 Cutting forces variation the time in a depth of cut is $30\mu\text{m}$ and feed rate 2 to 10mm/sec

한 것이다.

Photo. 3의 결과에서 알 수 있듯이 미세적벽의 윗 면에 발생하는 버의 형상은 위치로만 분석할 경우 사이드 버(Side burr)에 해당되지만 발생원리로는 포아손 버(Poisson burr)와 롤오버 버(Rollover burr)의 복합으로 보는 것이 좋을 듯 하다⁽³⁾. 이것은 엔드밀의 헬릭스 각(Helix angle)으로 인한 복합형상에 기인되는 것이라 여겨진다.

버의 발생량과 크기에 있어서는 절삭깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으며 이 원인은 절삭력 증가에 따른 일반적인 사항이라 판단된다. 따라서, 버의 발생을 최소화하기 위해서는 가공조건에서 절삭깊이를 줄이는 것도 하나

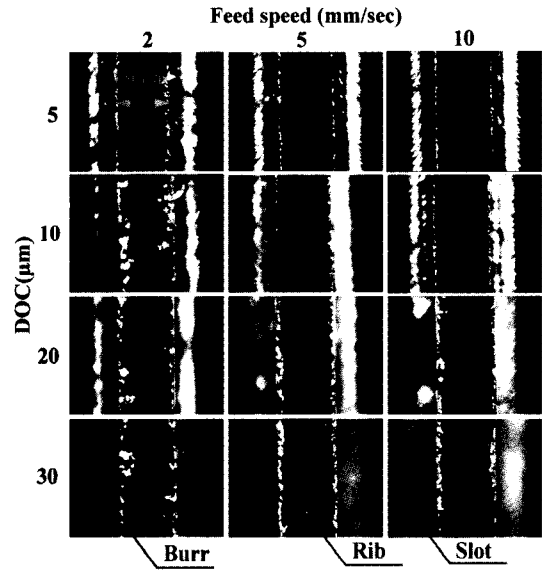


Photo. 3 Barrier ribs form variation in the micro endmilling

의 바람직한 방법이라 사료된다.

이송속도에 의한 버의 발생비율에 대해서는 절삭깊이에 따라 다소 차이를 보이지만, 본 실험에서는 이송속도 2mm/sec 일 경우보다 5mm/sec 가 적게 발생됨을 볼 수 있었다. Photo.3에서 알 수 있듯이 가공조건에 따른 적절한 이송속도는 버의 발생을 감소시킬수 있음을 보여 주고 있다.

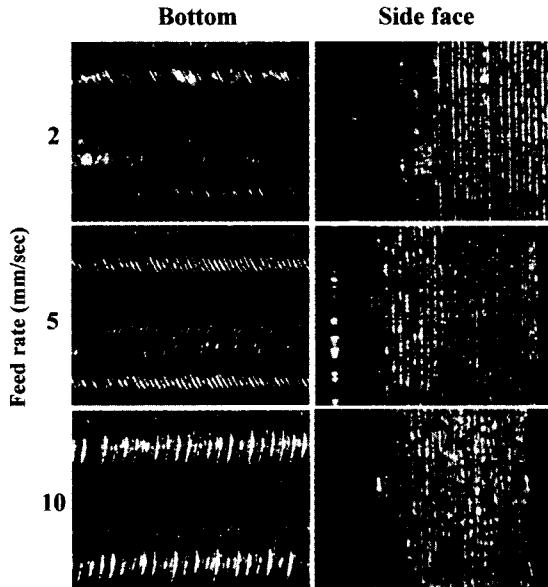


Photo. 4 Comparison of surface roughness for the bottom and side

4.3 이송속도에 따른 가공면의 표면조도

Photo. 4는 이송속도에 따른 마이크로 엔드밀이 지나간 바닥면과 미세격벽측면의 표면거칠기 형상을 보여주고 있다. 표면거칠기의 측정을 용이하게 하기 위하여 300 μ m 높이의 미세격벽에서 바닥면과 격벽측면을 측정하였다.

Photo. 4에서 볼 수 있듯이 이송속도가 작을수록 바닥면과 미세격벽측면의 표면거칠기가 뚜렷하게 작아짐을 볼 수 있었다.

Fig. 7은 Photo. 4에서 미세격벽을 가공시 마이크로 엔드밀링에 의한 바닥면과 미세격벽측면의 표면거칠기를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

바닥면에서의 측정부분은 공구의 전진방향인 X-방향과 공구의 회전방향인 Y-방향을 측정하였으며 미세격벽 측면의 경우 X-방향과 절삭깊이 방향인 Z-방향을 측정하였다.

측정결과, 바닥면의 경우 이송속도를 2mm/sec로 가공하였을 때 표면거칠기값인 Ra가 30nm까지 도달하였으며 이러한 가공면의 품위는 연마가공의 효과에서 얻을 수 있는 경면과 비슷한 수준에 이른다.

5. 결론

본 실험에서는 마이크로 엔드밀을 사용하여 황동소재

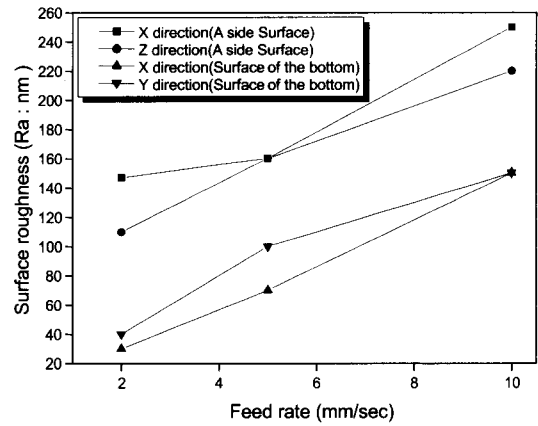


Fig. 7 Comparison of roughness for the bottom and side

에 미세격벽을 가공하였으며 이때 발생하는 절삭력과 버 발생량의 상관관계 및 형상을 고찰하였다. 그리고 마이크로 엔드밀의 이송속도에 따른 미세격벽 측면과 바닥면의 표면조도를 측정하였다. 실험에 의하여 얻어진 결과 및 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 황동소재에 마이크로 엔드밀을 사용하여 폭 150 μ m, 높이 50, 100, 200, 300 μ m의 미세격벽을 가공하였으며 가공시 절삭력의 크기는 절삭깊이 5 μ m, 이송속도 2mm/sec에서 가장 작게 검출됨을 알 수 있었다.
- (2) 버의 발생량에 대해서는 절삭깊이에 따라 다소 차이를 보이지만 본 실험에서는 이송속도 2mm/sec 보다 5mm/sec에서 감소하는 경향을 보였다. 원인으로는 가공시 40,000rpm으로 고속회전하는 마이크로 엔드밀과 이송속도, 황동소재의 특성이라 여겨지며 가공조건에 따라 이송속도를 적절하게 높이는 것도 버의 발생을 감소시킬 수 있는 방법이라 생각된다.
- (3) 미세격벽의 윗면에 발생하는 버의 형상은 사이드 버(Side burr)에 해당되지만 발생원리로는 포아송 버(Poisson burr)와 롤오버 버(Rollover burr) 그리고 엔드밀의 헬릭스 각(Helix angle)에 의한 복합적인 영향에 의해 형성되어지는 것이라 여겨진다.
- (4) 이송속도 2mm/sec에서 가공하였을 때 미세격벽바닥면의 경우 표면거칠기값인 Ra가 30nm까지 도달하였으며 이러한 가공면의 품위는 연마가공의 효과에서 얻을 수 있는 경면과 비슷한 수준에 이른다.

참 고 문 헌

- (1) 류재화, "PDP Cell 구조와 격벽형성기술", 제2차 평판 디스플레이 부품, 재료, 기술 심포지엄, 재료연구정보센터, 1997.
- (2) 이응숙, 제태진, 최두선, 강재훈, 신영재, 이현용, "미세금형 가공기술 개발 1단계 2차년도 보고서", 산업자원부, 2001.
- (3) 고성림, "Burr형성 원리의 이해와 적정 버 제거방법의 선택", 제1회 정밀표면가공 및 디버링 기술 워크샵 (BEST-K 96), 한국과학기술원, 1996.
- (4) I. Tansel, O. Rodriguez, M. Trujillo, E. Paz, W. Li, "Micro-end-milling - I. Wear and breakage", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 38, pp. 1419~1436, 1998.