

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 순도별 미세구멍 가공특성

## The Microhole Machining Characteristic According to Purity of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics

윤혁중\*, 임순재\*\*, 이동주\*\*\*, 한홍삼\*\*\*\*

Hyug Joong Youn\*, Soon Jae Lim\*\*, Dong Ju Lee\*\*\*, Heung Sam Han\*\*\*\*

\*대전기능대학 금형학과, \*\*표준과학연구원 계측공학그룹, \*\*\*충남대학교 기계공학과,  
\*\*\*\*과학기술원 기계공학과

### ABSTRACT

This study is about Jig used in wiring when we make Probocard and Large Scale Intergrated Electronic Circuit. The most universal wiring method is molding with Bond. Polymer film is punched down and adhesives is applied after wiring. Due to shrinkage and modification many problems still have happened in the process of molding. To solve these problems, ceramic plate was introduced in the study. Using Laser, an experiment of microhole treatment on ceramic plate was proceeded. Laser energy, assistance gas, and special features by purity degree were analyzed with the 35W low capacity YAG-Laser. In the condition of energy 0.08J, frequency 20Hz and interval time 200 $\mu$ s, about 70 $\mu$ m microhole was adequate for the Probocard Jig. In the purity experiment of ceramic materials, high purity ceramic met with good result for microhole. But the price is too high. The shape and size of holes machined combustion gas O<sub>2</sub> were better than those in N<sub>2</sub> and Ar, the inert gas.

### 1. 서 론

현재 Probocard는 IC(Intergrated Circuit), LSI(Large Scale Intergrated), VLSI(Very Large Scale Intergrated)의 검사뿐만 아니

라, 작업시간의 단축 및 제품의 생산향상에 중요한 역할을 함으로써, 대량생산과 원가절감 그리고, 최근에는 액정기판(LCD)등에 널리 사용되는 미세한 패턴과 전극의 측정 및 치공구로써 폭넓게 사용되고 있다. 기존의 Probocard 제조 방식은 폴리머 film에 편칭

하여 가이드를 만들고, 여기에 Probe(Needle)를 Wiring하는 방법을 사용하고 있으나, 이것은 열에 약하고, 여러 겹으로 층층이 쌓아 매 층마다 접착제에 의해 물딩을 하는데, 물딩후 응고과정에서 수축으로 Probe가 변위되고, 검사시 잦은 Probe의 위치조정으로 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서, 이를 보완하고자, 고온시험에도 견딜 수 있고, 내열성과 절연성이 뛰어나고, 물리적, 기계적 성질이 우수한 세라믹을 미세구멍 가공하여 가이드 핀 Wiring시 사용하는 지그(Jig)로 대체하고자 한다. 그러나, 세라믹은 가공상 난삭재로 알려져 왔으며, 종래의 구멍가공 방법인 드릴 가공법은 세라믹 미세구멍 가공에 있어서 장시간의 가공시간과 드릴의 파손으로 실패할 위험이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 비 접촉가공에 의한 미세구멍 가공방식으로 레이저에 의한 가공 방법이 요구된다. 그러나, 종래의 드릴 가공법과는 달리 레이저에 의한 가공은 열 가공법을 이용하기 때문에 가공구멍의 손상상태의 해명 및 가공구멍의 신뢰성 향상이 실용화 문제로 남아 있으며, 또한 가공조건들이 상세하게 공포된 데이터는 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 기존의 폴리머 필름에 펀칭 하여, Wiring 지그로 사용하는 것을 문제삼아, 세라믹 미세구멍 가공을 하는데 있어서, 미세구멍 가공에 적합한 소재를 찾고자 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 소재의 순도별 미세구멍 가공특성과, 세라믹 순도별 가공실험에서, 연소가스인 Air, O<sub>2</sub>와 불활성가스인 Ar, N<sub>2</sub>등의 보조가스가 가공특성에 미치는 영향을 비교 실험하였다. 이를위해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 순도별 가공 결과를 비교하고, 미세구멍 형상과 크기에 미치는 원인을 분석하고, 미세구멍 가공에서의 적합한 세라믹 순도소재, 이에 따른 보조가스의 종류 및 압력이 가공에 미치는 영향 등을 실험하여 알맞은 보조

가스의 선택방법을 제시하였다.

앞으로 반도체용 차세대 Probecard는 16 Chip 이상의 Multi probing 과 700pin 이상의 High Pins이 요구되며, 80 $\mu$ m이하의 Fine Pitch 와 Alignment 10% 이내의 미세 Pad에 대응하고, 고온 테스트에 대응하기 위해서는 고온편차  $\pm 5\mu$ m이내의 열팽창 계수가 적은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 사용이 절실히 요구된다고 판단되며, 앞으로도 세라믹 박판의 미세구멍가공에 대한 연구가 지속적으로 필요하다고 생각된다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용한 장비는 저 출력 Nd:YAG 레이저로, 영국 Lumonics사의 발전과장 1.06 $\mu$ m, Max Power 35W, Max Energy 1.5J/ Pulse (BET시 Max energy 3J), Repetition Rate 50Hz인 레이저이며 Drilling Thickness 0.001~4mm, Hole Diameter 0.003mm 이상, Max Speed 50 hole/sec, Pulse Duration 0.1ms이다. 가공 시료별 순도는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 96%, 99.9%, 99.99%, 와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)이며, 시료의 측정에는 미국 Alessi 사의 광학 현미경 REL-3200A를 이용하였다.

시료의 관찰에는 전자현미경(SEM)을 이용하였고, 실험장치는 미세정밀 전용의 특수 용도로 제작된 저출력 Nd:YAG 레이저로 구멍가공 시스템은 레이저 발전기, 제어장치, 냉각장치, 레이저빔 전송장치, 집광장치, 기계장치 Shielding 가스장치 등으로 구성되었고, 이것의 구성도는 Fig. 1 과 같다.

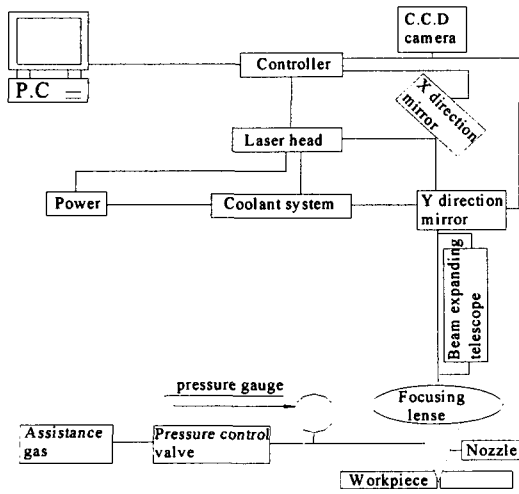


Fig. 1 Laser machining equipment system

주 실험재료는 산화물계 세라믹 소재로 크기는 W=30mm, L=114mm, 두께t=0.5mm 소재를 선택하였고, 그 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics

Section (unit)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
	96%	99.9%	99.99%	ZrO <sub>2</sub>
Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )	3.7	3.9	3.98	5.56
Absorption (%)	0	0	0	0
Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	1950	2650	2600	1900
Hardness Moh's	9	9	9	8~9
Thermal Conductivity (cal/cm.sec. °C)	0.062	0.072	0.09	0.005
Coef. of Thermal Expansion × 10 <sup>-6</sup> /°C	8.2	8.3	4.8~5.3	10.2
Flexural Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	3200	3800	4000~7000	2000
Service Temperature Max (°C)	1600	1750	1950	1100

이들 재료들은 압축성형 소결하여 제조하였고, 가공은 다이아몬드 휠로 연마후 표면을 래핑 가공하였다.

미세구멍 가공 조건은 기존의 실험결과에

서 에너지는 0.11J이상, 주파수 40Hz이상, 조사시간 400μs이상에서는 미세구멍의 크기가 100μm 이상이 될 뿐만 아니라, 열 영향부가 너무 커서, 미세구멍의 크기가 75μm 정도에 적합한, 레이저 에너지 0.08J를 사용하였다.

에너지가 0.08J보다 작을 경우 미세구멍 크기는 작아지지만, 미가공 구멍이 증가하고 이보다 클 경우에는 75μm이상의 크기로 가공되었기 때문이다.

에너지 균형식에 의해 요망되는 에너지는 다음과 같이 간략하게 구할 수 있다.

$$Q = \rho V \{ Cp(T_v - T_{상온}) + L_m + L_v \}$$

$$V = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 \cdot h$$

위 식을 이용하여 알루미늄의 세라믹에서 75μm가공시 약 0.083J 정도가 요구되므로, 이론식에 의한 에너지와, 실제 실험에 의해 나타난 결과인 0.08J와 거의 일치하고 있다. 본 실험은 주로 알루미늄 세라믹 소재별로 보조가스 종류들이 미치는 영향 등을 비교 실험하였고, 주파수는 30Hz, 조사시간은 200과 300μs로 하였다. 보조가스가 절단면의 조성에 커다란 영향을 주장한 이론을 근거로,<sup>1,2,3)</sup> 보조가스는 Air, Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>로 선정하였고, 보조가스의 압력은 0.2kgf/cm<sup>2</sup>로 하였다.

초점거리는 소재의 아래쪽 부(-)방향에서 원추형으로 가공된다고, 주장한 이론<sup>4)</sup> 및 이론 해석 및 가공된 실험결과<sup>1,5)</sup>를 참조하여, 본 실험에서는 B.E.T에 부착된 마이크로 미터로 소재 방향인 부(-)방향으로 초점 위치를 조정하여 원추형으로 가공이 되도록 실험하였다. 특히 이번 실험은 목표치가 윗면 75μm정도 아래면 45μm정도의 구멍가공이라는 조건하에 실험을 하였으며, 가공후 크기와 형상은 현미경 검사후 SEM 촬영하고, 아울러 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 종류별 조직검사도 하여 조직 형태가 가공 결과에 미치는 영향도 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 레이저 가공시 미세구멍 형상 및 크기에 영향을 미치는 변수중 레이저 에너지 0.08J, 주파수 30Hz, 조사시간 200  $\mu$ s 와 300  $\mu$ s, 보조가스 종류는 Air, Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 보조가스 압력은 0.2kgf/cm<sup>2</sup>로 설정하여, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 순도별 가공결과를 비교 검토하여 본 결과, 조사시간과 보조가스의 종류별로 가공결과에 미치는 영향이 있었고, 조사시간은 200  $\mu$ s에서 300  $\mu$ s보다 미세구멍 가공을 할 수가 있었다. 보조가스의 종류에서는 불활성가스인 Ar, N<sub>2</sub> 보다 연소가스인 Air, O<sub>2</sub>에서 보다 유리한 조건으로 가공되었다. 윗면구멍에서는 구멍 형상과 크기가 대체로 양호하였으나, 아래 구멍에서는 구멍 크기의 편차가 심하였고, 구멍형상이 불규칙하였다.

실험결과에서 보조가스로 Air를 사용했을 때 윗면 미세구멍 가공은 Fig. 2에서 보는바와 같이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%에서 가장 작고 안정된 미세구멍을 보이고 있으며, 실험 목적치값 75  $\mu$ m에 가장 근접한, 평균미세구멍 크기 74.8  $\mu$ m으로 가공되어 양호한 결과를 얻었으나, 가격이 너무 고가인 문제가 있었고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서 가장 큰 구멍가공이 되었음을 볼 수 있는데, 이것은 용융점이 다른 소재에 비하여 1440  $^{\circ}$ C로 매우 낮기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

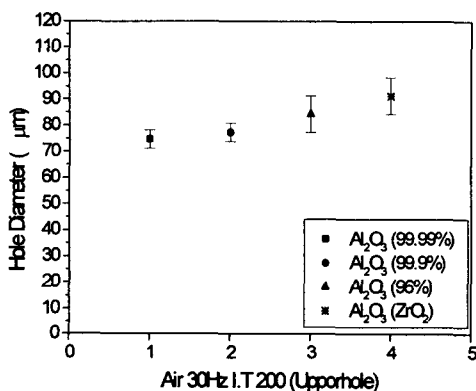


Fig. 2 Upperhole deflection in the Air

아울러, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)는 인성이 강하여 지그(Jig)용으로 적합하였으나, 소재 연삭가공이 매우 어려웠으며, 미세구멍의 가공결과에서도 평균 구멍크기가 고순도 세라믹보다 크게 증가함을 알 수 있었다. 미세구멍 크기에서는 작은 순서로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 소재의 순도 99.99%에서는 74.8  $\mu$ m, 99.9%에서는 77.4  $\mu$ m, 96%에서는 84.4  $\mu$ m으로 가공된 결과를 얻었으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서는 91.4  $\mu$ m로 가장 큰 가공 결과가 나왔다.

아래면 구멍가공 결과는 Fig.3과 같으며, 윗면 구멍과 마찬가지로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%에서 평균 미세구멍 크기 58.8  $\mu$ m로 가장 좋은 결과를 얻었고, 구멍의 편차도 가장 적게 나타났으며, 평균 미세구멍의 크기는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>소재의 순도 99.9%에서는 60.7  $\mu$ m, 96%에서는 66.9  $\mu$ m로 나타났고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서는 98.0  $\mu$ m으로 오히려 윗면보다 6.6  $\mu$ m크게 가공된 결과가 나타났는데, 이것은 소재가 용융상태에서 보조가스의 압력에 의해 밀려나가면서 보조가스가 구멍을 통과할때 가스압이 분산되면서 아래면의 구멍이 큰 경우가 발생하는 현상인데, 연소가스인 경우 초점이 레이저 헤드쪽 정(+)방향에서 주로 가공되었을 때 나타나는 현상이다.

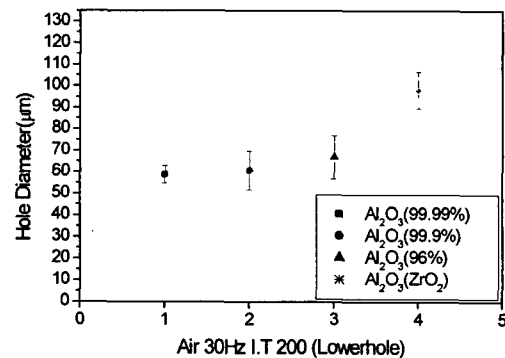


Fig. 3 Lowerhole deflection in the Air

보조가스를 O<sub>2</sub>를 사용한 윗면구멍 가공 결과는 Fig. 4 와 같으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%에서

평균 미세구멍 크기는  $77\mu\text{m}$ 로 가장 작게 나타났다. 평균구멍 크기는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%에서  $83.3\mu\text{m}$ 로  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%보다  $6.3\mu\text{m}$ 이 크지만 구멍 편차에서는 최대와 최저 편차가  $5\mu\text{m}$ 으로 가장 작은 결과를 보여주고 있다.

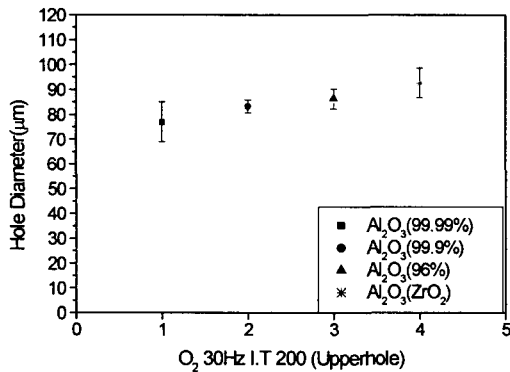


Fig. 4 Upperhole deflection in the O<sub>2</sub>

평균구멍 크기는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  96%에서는  $86.4\mu\text{m}$ 로 나타났고,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서는  $92.7\mu\text{m}$ 으로 2나타났다. 이 결과에서도  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%보다  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 가 구멍의 편차는 적으나, 평균구멍의 크기는 증가한 것을 알 수 있다.

위 결과에서는 고순도  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에서 가장 작은 미세구멍 가공결과를 얻었다.

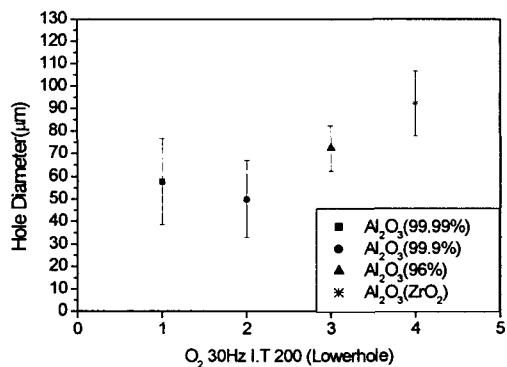


Fig. 5 Lowhole deflection in the O<sub>2</sub>

보조가스를  $\text{O}_2$ 를 사용한 아래면 구멍 가공 결과는 Fig. 5와 같으며, 여기에서는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%에서 평균 구멍크기가  $49.9\mu\text{m}$ 으

로 가장 작고  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%에서  $57.8\mu\text{m}$ 으로 보조가스를 Air로 사용한 것과는 대조를 이루고 있으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  96%에서는  $72.4\mu\text{m}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서는  $92.3\mu\text{m}$ 으로 각각 나타났다. 또한, 구멍의 편차가  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%와  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%에서 크게 나타났는데 이는 10개의 미세구멍중  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%에서  $30\mu\text{m}$ 구멍이 1개,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%에서  $28\mu\text{m}$ 으로 가공된 구멍이 1개가 나타난 결과로써, 구멍 편차는 그래프 상에서 크게 나타났으나, 평균구멍의 크기가 작은 것을 알 수 있다. 소재 표면의 SEM사진 분석결과 소재에서 입자 사이에 입자와 입자의 경계에서 패인부분(기공)이 발견되는데, 미세구멍 가공결과 간혹 미가공 되거나, 아래구멍에서 아주 작은 구멍이 발견되는 원인이 되기도 한다. 왜냐하면 레이저빔이 조사될 때 패인 부분에서는 플라즈마가 형성되어 레이저빔의 조사가 가공면에 도달하는 것을 방해하기 때문이다.

보조가스를 Ar을 사용한 경우, 윗면 구멍 가공 결과는 Fig.6 과 같다. 여기에서는 평균 미세구멍 크기에서  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%에서는  $80.3\mu\text{m}$ 으로 나타났고, 99.9%에서는  $78.8\mu\text{m}$ , 96%에서는  $89.8\mu\text{m}$ 으로 나타났고,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서는  $90.2\mu\text{m}$ 으로 나타났다. 평균구멍 크기는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%보다, 평균구멍 크기가 큰  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%에서 미세구멍 편차는  $1.5\mu\text{m}$  정도 작게 나타났다. 대체로 미세구멍 크기는 연소가스인 Air,  $\text{O}_2$  보다 불활성 가스인 Ar,  $\text{N}_2$ 가 크게 나타나는 경향이 있다. 이것은 불활성가스인 Ar에서 용융후 응고할 때, 수축현상이 Air,  $\text{O}_2$  보다 작게 일어나는 결과라고 판단된다.

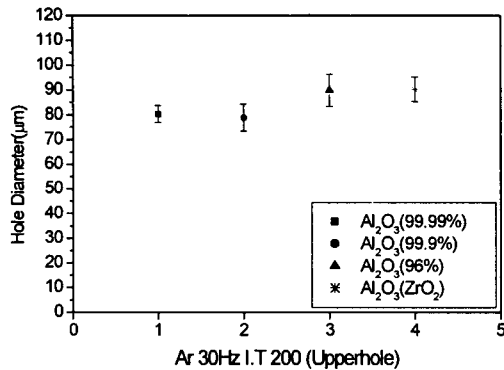


Fig. 6 Upperhole deflection in the Ar

보조가스를 Ar을 사용한 경우 아래구멍 가공 결과는 Fig.7 과 같다.

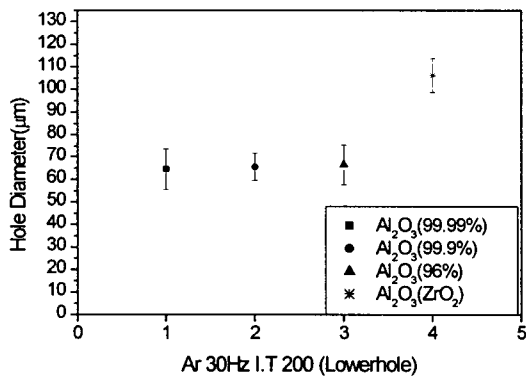


Fig. 7 Lowhole deflection in the Ar

여기에서, 두드러진 특징은 인장강도가 높은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서 평균구멍 크기가 106.4 μm으로 가장 크게 나타났는데 이것은 용융 온도 및 최고 사용온도가 낮고, 열 팽창계수가 크기 때문에 평균구멍의 크기가 증가한다고 판단되며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%에서는 64.7 μm로 나타났고, 99.9%에서는 65.6 μm, 96%에서는 66.7 μm등으로 나타나서, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)를 제외한 나머지 알루미나 세라믹 소재에서 대부분 양호한 결과를 보이고 있다.

보조가스를 N<sub>2</sub>를 사용한 경우 윗면 구멍 가공 결과는 Fig. 8과 같으며, 보조가스가 불활성 가스인 N<sub>2</sub>에서 윗면구멍 크기를 보

면 Ar과 마찬가지로 연소가스인 Air, O<sub>2</sub> 보다 미세구멍 크기가 대체로 증가하였다. N<sub>2</sub>를 사용할 때 미세구멍 크기에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%에서 평균구멍 크기 77.8 μm로 가장 적게 나타났으며, 구멍편차도 8 μm으로 가장 적게 나타났다. 나머지는 각각 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.9%에서는 89.9 μm으로 나타났고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 96%에서 83.0 μm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서 98.8 μm으로 각각 나타났다.

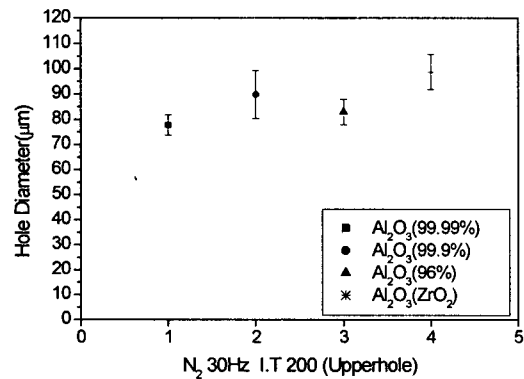


Fig. 8 Upperhole deflection in the N<sub>2</sub>

보조가스를 N<sub>2</sub>를 사용한 경우 아래구멍 크기는 Fig. 9와 같다.

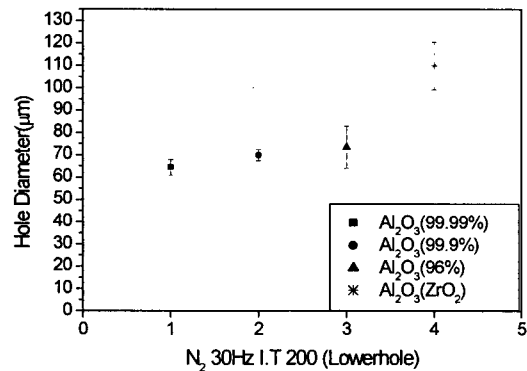


Fig. 9 Lowerhole deflection in the N<sub>2</sub>

위의 Fig. 9에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%와 99.9%에서 평균구멍 크기가 각각 64.5 μm, 69.9 μm로 가장 양호한 결과를 나타내고 있으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 96%에서 73.4 μm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)에서는 109.9 μm

으로 나타났다. 이것도  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서 평균구멍 크기가  $109.9\mu\text{m}$ 으로 가장 크게 나타나는데, 불활성 가스인  $\text{N}_2$ 에서도, Ar과 비슷한 경향을 보이고 있다.

이상에서 보조가스에서는 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 가 불활성가스인 Ar,  $\text{N}_2$ 보다 작은 미세구멍이 가공됨을 확인하였다. 이는 소재별 또는 보조가스별로 미세구멍의 형상과 크기에 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있었다. 미세구멍의 크기에 대한 결과에서 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 에서 미세구멍의 크기가 작아지는데, 불활성가스인 Ar,  $\text{N}_2$  보다 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 에서 용융후 상온으로 급랭되는 과정에서 수축이 일어나기 때문에 미세구멍이 작아진다고 판단된다. 왜냐하면, 실험과정에서 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 가 용융이 잘되는 것을 알 수 있었기 때문이다. 그러므로 연소가스가 불활성 가스보다 용융후 냉각과정에서 수축현상이 크기 때문에 미세구멍 크기가 작아진다고 판단된다.

조사시간에 따른 미세구멍 크기에서는 구멍수 160개를 평균한 결과, 에너지  $0.08\text{J}$ , 주파수  $30\text{Hz}$ , 조사시간  $200\mu\text{s}$  일 때 윗면구멍에서 평균크기가  $84.8\mu\text{m}$ , 아래면 구멍에서는  $73.6\mu\text{m}$ 의 결과를 얻었다. 같은 조건으로 조사시간만 변화를 주어 조사시간  $300\mu\text{s}$  일 때는 윗면구멍에서 평균크기가  $85.9\mu\text{m}$ 이고, 아래면 구멍에서는  $73\mu\text{m}$ 의 결과를 얻었다. 이 실험 결과에서는 조사시간이 길면 미세구멍의 크기가 약간 커지는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 10과 11의 SEM 사진을 비교해 보면 고순도인 Fig. 10의 (b)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.9%와 Fig. 11의 (a) 99.99%에서 구멍의 크기가 작고, 형상이 안정됨을 보이고 있으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서 구멍의 형상과 크기가 큰 것을 볼 수

있다. 이것은 세라믹의 소결과정에서 고순도  $\text{Al}_2\text{O}_3$  입자의 밀도가 높고, 크기가 대체로 균일하게 분포된 결과라고 생각된다. 또한  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$ 에서 구멍의 크기가 가장 큰 것은 인성이 강하고, 결합력이 강하나, 용융온도가 낮아 용융후 붙어내는 과정에서 보조가스의 압력에 의해, 미세구멍이 대체로 증가하여 가공된다고 판단된다.

보조가스 종류별 실험결과를 보면 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 에서 구멍주위가 입술모양으로 부풀어 있고 미세구멍 크기가 불활성가스인 Ar,  $\text{N}_2$ 보다 작은 것을 발견할 수 있었는데 연소가스는 용융과정에서 표면장력으로 인하여 부풀어 올라온다고 판단된다. 일반적으로 연소가스인  $\text{O}_2$ 에서 용융으로 인하여, 구멍 크기가 커진다는 연구 결과들이 있으나6) 이번 실험에서는 용융후 냉각과정에서 수축이 심하여, 오히려 작게 나타나는 결과를 얻었으며, 실제 레이저 가공에서 미세구멍 가공시 변수들은 다양하게 존재하였다.

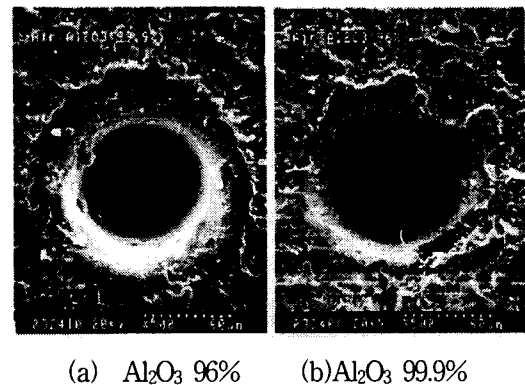


Fig. 10 Comparison of microhole shape and size on the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  96% and 99.9%

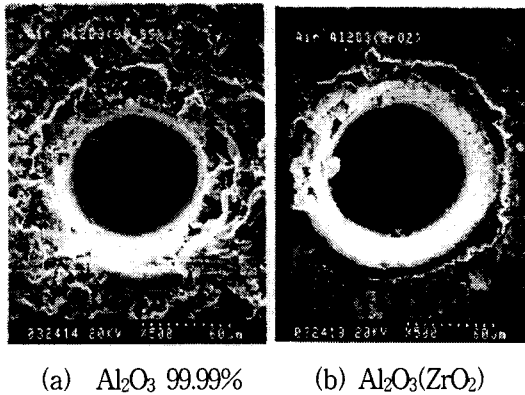


Fig. 11 Comparison of microhole shape and size on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99% and ZrO<sub>2</sub>

특히 그동안 실험과정에서, 보조가스의 압력 실험결과 보조가스의 압력이 큰 경우 가공 후 재 용융과정에서 열 영향 부위 및 구멍 깊이의 손상등이 크게 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 실험과정에서 연소가스인 O<sub>2</sub>에서 보조가스 압력 1kgf/cm<sup>2</sup> 정도에서 구멍 크기와 열 영향부가 증가 하지만 보조가스의 압력을 최대한 낮추어 비교적 저압인 0.2kgf/cm<sup>2</sup>으로 사용하고, 보조가스는 용융후 불어내는 방식이 아닌 단순히 연소 보조의 역할을 할 경우에 그 반대로 구멍이 작아짐을 발견 할 수 있었기 때문이다. 이 경우에 있어서 실험과정에서 살펴본 결과 연소가스인 Air와 O<sub>2</sub>는 용융이 잘되고 용융후 급냉 과정에서 수축으로 인하여 구멍의 크기가 작아진다고 판단되며, 불활성가스인 Ar, N<sub>2</sub>에서는 레이저빔에 의한 용융정도가 다소 적기 때문에 용융후 보조가스로 불어내는 가공보다는 열에 의해 태워서 승화시키는 가공으로 수축현상이 작게 일어난다고 판단되며, 이것도 역시 보조가스의 압력이 미세구멍의 크기를 지배하는 변수로 작용한다고 판단된다. 특히 CO<sub>2</sub> 레이저 가공에서 GFRP 구멍가공시 불활성가스인 N<sub>2</sub>에서 연소가스 Air와 O<sub>2</sub>보다 미세구멍 가공시 적합하다는

실험 결과도 있으나<sup>6)</sup>, 실제 이것들의 세라믹 가공에 적용한 결과 오히려 불활성가스인 Ar, N<sub>2</sub>에서 소결입자의 탈락으로 인한 크랙현상을 일부 발견할 수 있었고, 특히 보조가스를 사용하지 않거나, N<sub>2</sub> 가스에서 소재가 까맣게 변하는 현상이 심하게 일어나는 것을 발견할 수 있었는데, 이것은 레이저빔에 의한 소재의 용융상태에서 질소와 혼합되면서 까맣게 변하는 현상으로 유리와 같은 비정질 재료에서 용융상태에 질소성분이 혼합된 후 응고되면서 흔히 나타나는 현상으로 기계적 성질에는 변함이 없다고 알려져 있다. 미세구멍의 크기와 형상에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.99%, 99.9%가 다소 양호한 결과를 보이고 있으나 가격이 너무 고가인 단점이 있고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZrO<sub>2</sub>)는 인성이 있어서 기계적 성질이 우수하고 잘 깨지지 않는 장점이 있는 반면에 시료를 가공하기 어렵고, 가공시간이 많이 걸려 가공비가 비싸다는 결점도 있으며, 실험결과 미세구멍 크기도 고순도 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다 크게 가공되었다. 세라믹 순도별 표면 상태가 가공결과에 미치는 영향에서는 가공소재 시료별로 조직 사진을 찍어 분석해 본 결과 기공이나 입자의 불균일로 인하여 레이저빔의 난반사가 일어나 빔이 분산됨으로써 미세구멍 형태의 불규칙 현상이 발생하고, 에너지의 분산으로 에너지 집중이 어려운 것도 미세구멍 가공에 영향을 미친다고 판단되며, 특히, 패인 부분에서는 플라즈마가 형성되어 레이저빔의 조사를 방해하므로 소재의 평면도 가공도 매우 중요하다고 판단된다. 이것은 1차 가공에서 실패할 경우 패임이 생기면 같은 조건으로는 계속 가공해도 가공이 되지 않고, 에너지를 증가하거나, 다른 조건으로 하지 않으면 플라즈마에 의해 가공이 되지 않는 현상으로 유추 해석 할 수 있다. 가공기 장치의 테이블의 수평의 어긋남은 미세구멍의 형상이 타



원으로 가공되는데, 이를 방지하기 위해서는, 레이저 가공장치의 평면도 및 직각도 검사가 요구된다. 레이저빔의 표면 반사를 고려하면 시료 가공시 래핑으로 표면조도를 최대한 양호하게 가공할 필요가 있으며, 미세 구멍가공에서는 시료 고정장치의 오차로 인한 가공 단면의 형상도 고려하여 레이저빔과 소재의 진직도가 고려된 최적의 가공 상태로 작업해야 된다고 생각한다. 또한 세라믹 박판의 미세구멍 가공시 편차가 적은 미세구멍 가공을 할 경우에 Nd:YAG 레이저에 의한 가공은  $100\mu\text{m}$  이하의 가공에 적용하기는 문제점이 있다고 판단된다. 이유는  $100\mu\text{m}$  이상의 가공 실험에서는 미세구멍의 편차가 극히 적은 반면 그 이하로 가공할 경우 미세한 작업조건들이 미치는 영향은 매우 크기 때문에, 레이저에 의한 세라믹의 미세구멍 가공에 있어서 다수의 구멍 가공을 할 경우에, 일부 편차가 심한 소수의 부적합한 구멍으로 인하여 사용이 곤란하므로, 레이저 미세구멍 가공에서는 소수의 미세구멍 가공시에 적용하는 것이 적합하다고 판단되며, 다수의 미세구멍 가공이 필요한 경우 2차 가공에 의한 수정 가공도 고려되어야 한다고 판단된다.

#### 4. 결 론

$\text{Al}_2\text{O}_3$  세라믹 박판의 순도별 미세구멍 가공에 있어서 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 미세구멍 가공결과 고순도 세라믹 소재인  $\text{Al}_2\text{O}_3$  99.99%, 99.9%에서  $\text{Al}_2\text{O}_3$  96%,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2)$  세라믹 보다 양호한 결과를 얻었으나 소재의 가격이 너무 고가인 단점이 있다.
2. 보조가스 종류에서는 연소가스인 Air와  $\text{O}_2$ 가 불활성 가스인 Ar,  $\text{N}_2$ 보다 작은 미세구멍이 가공되었으며, 보조가스의 압력

도 용융후 불어내는 구멍가공 시스템에서는 미세구멍 가공에 영향을 크게 미친다는 것을 알았으며, 본 실험결과에서는 보조가스의 종류에서는  $\text{O}_2$ 가, 압력에서는 저압인  $0.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에서 표면 손상이나 열 영향부위가 가장 적은 미세구멍을 가공할 수 있었다.

3. 조사시간에서는 조사시간이 짧은  $200\mu\text{s}$ 에서  $300\mu\text{s}$ 보다 작은 미세구멍 가공을 할 수 있었고, 조사시간  $100\mu\text{s}$ 에서는 미가공 구멍이 많이 발생하였고,  $400\mu\text{s}$  이상 너무 크면 미세구멍의 편차가 크게되어, 본 실험 결과에서는 미세구멍의 크기가  $100\mu\text{m}$  이하에서는 조사시간은  $200\sim 300\mu\text{s}$  정도가 적합하다는 결론을 얻었다.

본 실험은 (주)평창하이테크 기술지도 과정에서 실험한 논문이며 회사에서의 목적하는 미세구멍의 형태와 크기는 위면 구멍  $75\mu\text{m}$ , 아래면 구멍  $45\mu\text{m}$  편차  $\pm 3\mu\text{m}$  정도이므로 앞으로도 계속 보조가스의 공급방법, 압력, 및 노즐의 형상 및 종류에 따른 비교실험을 하여 미세구멍에 미치는 영향에 대하여 연구를 계속 할 계획이다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 金道薰, "레이저가공학", 京文社, 1992, pp.156-158, pp.295-304.
- 2) Paek, U.-C., and Gagliano, F.P., "Thermal Analysis of Laser Drilling Processes", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-8, 1972, pp.112-119.
- 3) Chen, S. L., and Steen, W. M., "The Theoretical Investigation of Gas Assisted Laser Cutting," In the Proceedings of ICALEO', 91, 1992, pp.221-230.
- 4) Biyikli, S. and Modest, M. F., "Beam Expansion and Focusing Effects on

- Evaporative Laser Cutting", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.110, 1988, pp.529-532.
- 5) 森田 昇, 桑田 隆, "ヤラミクスのレーザ穴あけにおける焦点位置が加工穴形状に及ぼす影響" journal of the Ceramic Society of Japan 102, (2) 1994, pp.189-193.
- 6) 青山榮一, 廣垣俊樹, 井上久弘, 野辺弘道, 郡嶋宗久, 北原洋爾, 片山傳生 "GFRPのレーザ穴あけ加工における穴品質の改善に関する研究" J.Soc. Mat.Sci. Japan, Vol.45, No.5, 1996, pp.577-581.