

형상 엔드밀 공구를 이용한 LED금형의 방전전극 가공에 관한 연구

김형찬*, 이희관**, 黃錦鐘*, 공영식***, 양균의****

A Study on Machining Electrode for LED Mold with Shaped End-Mill

Hyung-Chan Kim*, Hi-Koan Lee**, Jing-Chung Huang*, Young-Sik Kong*** and Gyun-Eui Yang****

ABSTRACT

A study on machining electrode for LED (Light Emitted Diode) mold with shaped end-mill is presented. The electrode machining by shaped end-mill has been used for maximizing the productivity in manufacturing semiconductor mold. However, it has not been researched systematically for many difficulties such as the making of shaped end-mill, generation of tool path due to distinctive tool geometry, and so on.

Tool path is generated on geometry of the shaped end-mill and cutting force to provide accurate and efficient machining of electrode. The verification program can drive enhancement of productivity, selecting cutting conditions from experiment function of cutting force. Also, compensation of tooling and machining error can make the electrode accurately by modifying tool path. Therefore, the research on machining with shaped end-mill can contribute to enhancement of accuracy and productivity in building semiconductor mold.

Key Words : Electrode (방전전극), Shaped end-mill (형상 엔드밀), Tool path (가공경로), Cutting condition (절삭조건), Productivity (생산성)

1. 서론

고속가공(High Speed Machining)은 일반적으로 주축의 고속회전속도, 고속이송속도, 동작기계의 큰 동력 등을 이용하여 기존의 가공보다 더 높은 소재 제거율을 얻을 수 있는 가공방식이라 할 수 있다.^{(1),(2)} 고속의 주축회전은 고속의 이송속도를 이끌어내며 이것은 가공시간을 단축시켜 생산성 및 가공능률을 높여준다. 또한, 날 당 칩 하중을 작게

하여 가공물의 표면정도를 향상시킬 수 있으며 후공정 작업이 수월해진다. 그리고, 절삭력을 줄여주어 얇은 알루미늄 리브(rib), 흑연전극 같은 얇고 취성이 있는 재료를 가공하는데 있어 유리하다.

고속가공기술은 알루미늄 합금 등과 같은 저경도 재료에 대해서는 폭넓게 적용되고 있지만 고경도 재료의 고속가공기술에는 해결해야 할 문제들이 많이 남아 있는 실정이다. 일례로, 고경도 재료의 가공을 위해 초경공구 등 고경도 공구를 사용하고

2002년 2월 27일 접수
* 전북대학교 대학원 기계공학과
** 전북대학교 자동차 부품·금형 TIC
*** 전북지방 중소기업청
**** 전북대학교 기계항공시스템공학부

있지만 공구의 빠른 마모와 소요 비용으로 인한 가공 비용 증가 등의 문제가 대두되고 있다.

이러한 고정도 재료의 고속가공을 대체하는 가공방식으로 전기적인 스파크 방전을 이용한 방전가공(Electrical-Discharge Machining)을 들 수 있다.^{(3),(4)} 방전가공은 고속가공에 비해 생산성이 낮고, 고속가공 기술의 발달로 인해 비중이 감소되고 있지만 고정도 재료의 금형, 고정밀 반도체 금형 등의 정밀가공 분야에서 아직도 상당한 비중을 차지하고 있으며 꾸준히 기술개발을 하고 있다.⁽⁵⁾

최근에는 방전가공에서도 고속가공을 하기 위해 동전극(copper electrode) 대신에 고속가공에 많은 장점을 가지고 있는 세라믹스 계열인 흑연전극(graphite electrode)을 사용하고 있다.⁽⁶⁾ 방전가공에서 절삭공구의 역할을 하는 방전전극의 정밀도는 방전조건과 함께 중요하다. 따라서, 전극 가공이 중요하며 제작시간을 단축하기 위해서는 고속가공이 필요하다. 전극의 정밀도는 재료의 성분에 영향을 받기도 하지만 그것을 가공하는 공구의 정밀도가 상당한 영향을 미친다.^{(4),(7)} 또한, 한번 가공으로 최종형상을 완성할 수 있는 절삭공구를 사용하여 전극을 고속가공하면 고효율 가공이 가능하지만, 특수공구의 상업적 범용성 등의 한계 때문에 방전가공의 전극 제작에 사용되는 특수공구에 대한 연구는 거의 보고되고 있지 않는 실정이다.

본 논문에서는 제품의 최종형상을 단시간내 가공하도록 제작한 특수공구를 형상 엔드밀 공구라고 하였으며, 형상 엔드밀의 가공경로에 대한 연구를 수행하고자 한다. 또한, 고속가공의 적용과 형상공구에 의한 가공물(흑연, graphite)의 절삭에 대해 가공시 발생하는 절삭력 실험식을 이용하여 프로그램을 제작, 툴링 및 가공오차를 고려하여 가공경로를 수정함으로써 LED 방전전극의 가공공정에 있어서 정밀도 및 생산성을 향상시키는 방안에 대해 제시하고자 한다.

2. 가공재료

흑연은 입자 크기에 따라 산업용, 미세입자, 초미립자 등으로 분류되며 열충격과 고온에 강하므로 전극봉, 가열재료, 모터 브러시, 고온용 고정구, 가열로의 부품, 금속 주조시의 주형 등과 같은 곳에 이용된다. 특히, 전극봉으로 사용되는 흑연은 동전극에 비해 가벼우며 전극의 소모가 적고 가공속도

도 빠르다. 또한, 무게가 가벼워 대형전극의 제작에 유리하며 기계가공성, 내열성이 좋아 고속 및 정밀가공에 적합하다.

본 연구에 사용된 가공물은 구리를 용침(infiltration)시켜 제조한 것이다. 이 제품은 가공속도, 마모, 그리고 표면정도가 중요한 곳에 사용된다. 또한, 강도가 임계에 가깝게 요구되는 미세한 정밀전극, 나사전극, 우주항공분야, 탄화물 가공 및 작은 구멍가공 등에 응용할 수 있다. Table 1은 시편으로 사용된 흑연(EDM-C3)에 대한 기계적 성질을 보여준다.⁽⁸⁾

Table 1 The mechanical properties of EDM-C3

specification	value
average particle size (microns)	< 5
flexural strength (psi)	16,500
compressive strength (psi)	30,000
hardness (Shore)	67
electrical resistivity (micro-ohm-in)	120

3. 형상 엔드밀 공구

최근의 가공기술은 고속의 가공속도 및 고정밀도를 요구하는 추세이다. 이러한 추세로 볼 때 단순한 형태를 정밀, 반복 가공할 경우는 일반공구를 사용하는 것보다 최종형상을 단시간내 가공할 수 있게 특수 제작된 공구를 사용하는 것이 보다 효과적이다. 이를 위해 특수 제작된 공구를 형상 엔드밀 공구라고 하였다.

형상 엔드밀은 공구의 크기 및 형상에 제한이 있어 소형 가공물, 절삭량이 적은 곳, 그리고 단순하고 정밀한 형상의 가공 등에 주로 사용된다. 장점으로는 일반공구에서 나타나는 커슥(cusp)을 제거하여 표면조도를 좋게 할 수 있으며 형상의 정밀도를 높일 수 있다. 또한, 반복가공시 동일한 치수의 제품을 얻을 수 있어 생산성을 크게 향상시킬 수 있다.

3.1 형상 엔드밀 공구의 제작

형상 엔드밀은 일반 연삭기를 이용하여 황삭과정을 거친 후 profile grinding machine을 이용한 정삭과정을 통해 제작하며 Fig. 1은 제작 과정이다.

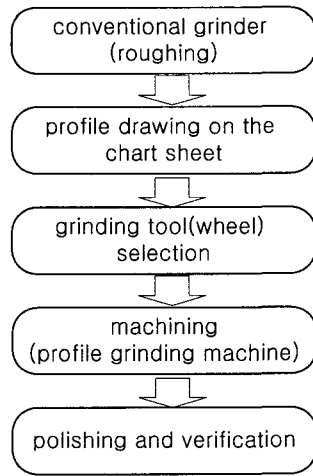


Fig. 1 Manufacturing process of shaped end-mill

CNC profile grinding machine은 투영기의 원리를 이용하여 최종제품의 단면 및 가공물의 절삭상태를 확인하면서 작업하며, 반도체 및 정밀금형 제작에 이용되고 있다.

특수공구를 제작하기 위해서는 여러 가지 고려사항이 있는데 그 중에서 가공물의 최종형상을 알아야 한다. 본 논문에서 형상 엔드밀을 이용하여 생성하는 최종형상은 LED금형을 방전가공하기 위해 사용되는 방전전극으로서 하단은 원통이고 상단은 구의 형태를 가지고 있다. 이러한 전극을 생성하기 위해서는 주축이 회전하면서 공구의 중심이 원을 그리며 가공물을 절삭해야 한다.

Fig. 2는 profile grinding machine(Wasino co., 135AS)을 이용하여 제작한 형상 엔드밀의 단면형상을 보여주고 있다. 사용된 재료는 초경이며 절삭날이 2개를 가지고 있고 각 날은 비대칭이지만 절삭면적은 비슷하며, 가공시 절삭력 변동이 적어 고속가공에 이용되도록 제작되었다.

형상 엔드밀의 절삭형태는 밀링공구와 같이 중심축을 주축으로 회전하면서 공구의 선단(tip)이 CL(Cutter Location) 점이다. 그리고 두 개의 절삭날이 비대칭인 이유는 흑연 절삭시 절삭부하의 부담을 줄여주기 위해서다. 절삭날 중 반경(R) 값을 가진 절삭날은 전극 상단부의 형상을 가공하며 R을 가진 원호절삭날이라 하였다. 또한, R을 가진 사분원의 양쪽 끝은 최종형상의 조도를 높이고 버(burr)

의 생성을 막기 위해 접선방향으로 처리하였다. 직선절삭날은 전극의 하단부를 생성하며, R을 가진 원호절삭날은 약간의 여유 높이를 주어 전극 상단부를 절삭하지 못하도록 하였다.

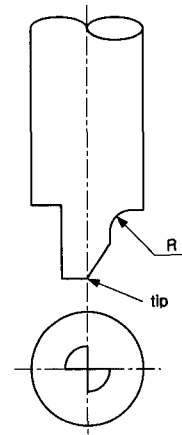


Fig. 2 Shaped end-mill for electrode

3.2 가공경로 생성

형상 엔드밀은 주축이 회전하면서 가공물을 절삭하는데 두개의 절삭날 중 어느 것이 먼저 가공물을 절삭하더라도 최종형상은 같게 된다. Fig. 3은 비대칭인 두개의 절삭날이 생성하는 형상의 단면을 보여준다.

형상 엔드밀이 최종형상을 생성하기 위해서는 Fig. 4와 같이 공구의 중심인 선단이 일정 반경의 원을 그리며 가공해야 한다. Fig. 4는 공구의 선단이 이동하는 경로를 보여주며 가공 후 생성되는 최종형상은 LED금형가공에 사용되는 방전전극이다.

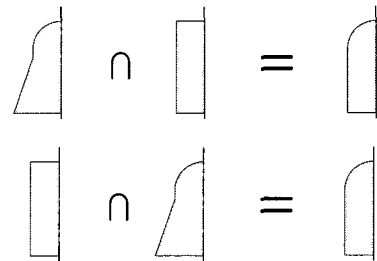


Fig. 3 Machining patterns of shaped end-mill

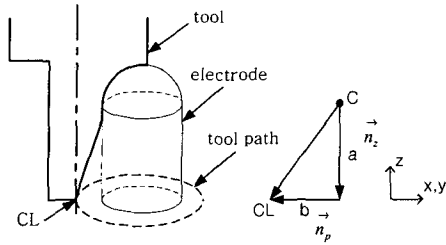


Fig. 4 Strategy of tool path

전극의 가장 중요한 부분은 반구부위이며 형상 엔드밀 역시 절삭날의 원호부위가 가장 중요하다. 따라서, 형상 엔드밀이 일정 반경의 원을 그리며 반구를 생성하는 절삭날의 반지름 값을 중심으로 CL 데이터에 대한 식을 정의할 수 있다. 식 (1)은 형상 엔드밀의 CL 데이터를 벡터로 표현한 것이다.

$$CL = C + a \vec{n}_z + b \vec{n}_p \quad (1)$$

여기서, C는 R을 가진 원호절삭날의 반경 중심 점, \vec{n}_z 는 C점에서의 Z축 단위벡터, 그리고 \vec{n}_p 는 단위벡터이며 a, b는 전극의 높이와 직경에 관한 치수이다.

4. 형상 엔드밀 공구의 가공경로

4.1 절삭력 및 파괴강도 계산

전극은 인장강도보다 전단강도가 작으며 취성이 강한 세라믹재료이며 지름이 매우 작다. 이것은 가공시 가공면의 미세한 균열과 충격에 매우 약하다는 것을 나타내며 절삭공구의 정밀도, 가공기계, 재료의 치밀도(density) 등에 상당한 영향을 받는다. 그리고, 가공시 전극에 Fig. 5와 같이 굽힘 모멘트와 비틀림 모멘트가 동시에 작용하고 있다고 생각할 수 있는데, 고속가공에서는 모멘텀 효과(momentum effects)가 가공속도의 증가에 의해 무시할 수 없게 되어, 전극의 하단부가 파단된다. 따라서, 전극은 굽힘과 비틀림 모멘트를 동시에 받는 축으로 간주하고 절삭력은 집중하중으로 생각할 수 있다. Fig. 5는 전극을 외팔보로 간주하여 집중하중에 대한 굽힘 모멘트와 절삭력에 의한 비틀림 모멘트를 보여준다.

절삭력을 집중하중으로 생각하기 위해서는 도

심을 구해야 하며 이를 구하기 위해서는 먼저 절삭면적을 구해야 한다. 절삭면적(A)은 Fig. 6에서 A₂와 A₃의 합이며 공구가 절삭할 때의 단면의 치수를 보여준다. 절삭면적(A)은 식 (2)와 같다. 구해진 절삭면적의 도심을 구하여 적용한다.

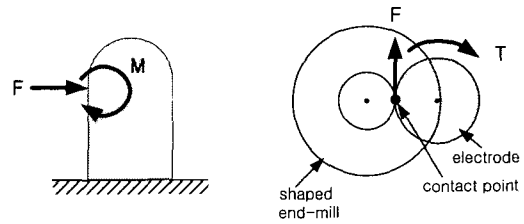


Fig. 5 Cutting force and bending and twist moments

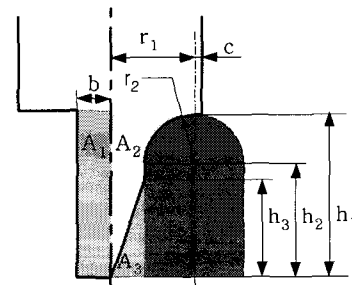


Fig. 6 Section of electrode

$$A = \frac{\{(h_1 - h_3) + h_1\} \cdot b}{2} + (1 - \frac{\pi}{4}) r_2^2 + \frac{b h_3}{2} \quad (2)$$

세라믹 재료인 흑연은 취성재료이므로 최대 주응력설을 이용하여 전극 하단부의 파단을 일으키는 임계절삭력(F_c)을 구할 수 있다. 아래의 식 (3)은 최대 주응력설에 의한 상당굽힘응력(σ_e)이며 이를 이용하여 임계절삭력을 구한다.

$$\sigma_e = \frac{1}{2} (\sigma + \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}) = Y \quad (3)$$

여기서, Y는 허용인장응력, σ 는 굽힘응력이며 τ 는 비틀림에 의한 전단응력이다. 위의 제시된 식들을 이용하여 전극이 파단될 때 예상되는 임계절삭력을 구하기 위해서는 흑연의 허용인장응력을 구해야 하지만, 취성재료의 시험방법 및 여러 가지

요인으로 인해 정확한 값을 구하지 못하여 공구동력계(dynamometer, KISTLER 9257A)로 실제 절삭력을 측정하였다. 절삭력 신호를 증폭하기 위한 증폭기(charge amplifier, KISTLER 5001)를 사용하였으며, 측정시 가공조건은 0.73mm의 R값을 가진 형상 엔드밀로 공구의 회전속도를 3,500rpm으로 놓고 이송속도를 10mm/min씩 증가시켰다. X, Y, Z방향에서 나타난 절삭력의 합력에 대한 절삭력 패턴을 Fig. 7에서 보여주고 있으며 주기별 평균절삭력을 구하여 임계절삭력 및 적정절삭조건을 선정하였다.

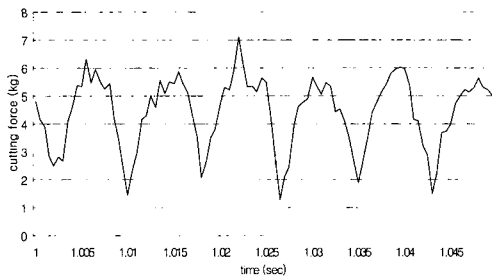


Fig. 7 Cutting force (3,500rpm, 50 mm/min)

Fig. 8은 위와 같은 조건으로 전극 60개를 가공하여 이송속도에 따른 절삭력을 평균하여 그래프로 나타낸 것이다. 이송속도가 증가할수록 절삭력이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 특히 전극의 파단은 60mm/min에서 발생하였고 임계 절삭력은 4.6066kg이다.

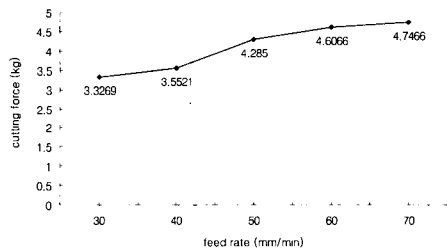


Fig. 8 Cutting force and feed rate (3,500rpm)

동일한 공구를 사용하여 회전속도를 6,600rpm으로 가공한 결과 이송속도가 30mm/min에서 임계 절삭력이 발생하였다. 위의 두 가지 실험결과를 보면 공구의 회전속도가 높으면 절삭력이 증가하는 것을 알 수 있다.

공구 회전속도와 절삭면적이 일정한 경우 Fig 8에서 절삭력과 이송의 함수관계를 보면 근사 1차임을 알 수 있다. 따라서, 가장 적합한 근사함수(E)를 구하기 위해 최소자승법(least square method)를 이용하였으며 식 (4)와 같다.

$$E = \sum_{i=1}^n [F_i - (af_i + b)]^2 \quad (4)$$

여기서, F는 절삭력, f는 이송속도이며 a, b는 함수의 계수들이다. 위 식은 a와 b를 변수로 갖는 함수로 볼 수 있으므로 이 함수가 최소값을 갖기 위한 필요조건은 각각의 편도함수가 0이 되는 것이며 식 (5)과 같다.

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial E}{\partial a} \\ 0 &= \frac{\partial E}{\partial b} \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 9는 Fig. 8의 데이터를 이용하여 최적의 근사함수를 구한 후 그래프로 비교한 것으로 근사곡선과 실험데이터가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 근사함수에 의한 절삭력을 예측함으로써 적정 절삭조건을 선정하는데 이용된다.

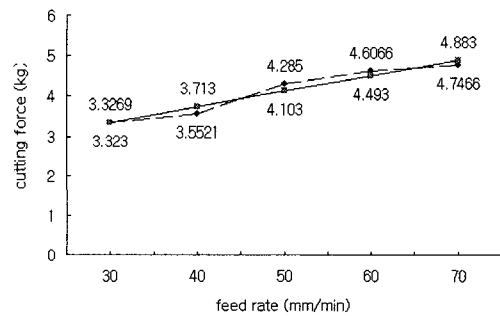


Fig. 9 Experimental data of cutting force data and the regression of cutting force data

4.2 절삭조건 선정

전극이 파단을 일으키지 않고 안전하게 가공하기 위해 공구의 회전속도가 일정한 조건에서 1회 가공과 단계가공하는 방법을 이용하였다.

1회 가공시 전극의 지름이 크면 공구의 이송 및 회전속도에 대한 영향을 받지 않지만, 지름이 매우 작을 경우에는 무시할 수 없게 된다. 이 경우 이송 속도를 조절하여 최대 절삭력 미만에서 가공하면 안전하다. 단계가공은 절삭깊이를 여러 번 나누어 가공하는 방법으로서 절삭력이 임계값 이상일 경우와 가공시간 단축을 위해 적용할 수 있다. 이것은 XY평면상에서 전극의 반경방향으로 offset량을 주어 가공하며 offset량에 의해 가공속도 및 발생하는 절삭력이 좌우된다.

위의 두 가지 방법은 임계절삭력을 기준으로 하였지만 그 외의 가공기계, 공구의 정밀도, 가공재료, 작업자의 Z축 보정 등의 오차요인들을 고려하기 위해 안전율을 적용해야 한다. 또한, 수십 개의 전극을 가공하므로 접근과 후퇴시 가공경로가 접선 연속을 유지해야 한다.

Fig. 10은 절삭력 예측에 대한 방법을 적용한 프로그램의 flow chart를 나타낸 것이다. 제작된 프로그램은 공구의 회전속도가 일정한 상태에서 여러 번 실험한 데이터를 받아 최소자승법을 이용하여 근사함수를 구한다. 실험데이터는 가공기계, 공구의 정밀도, 가공재료 등의 오차요인들을 포함하고 있다. 따라서, 허용절삭력(F_a)을 구하기 위해 실험에서 얻어진 임계절삭력(F_c)에 안전율(k_a)을 적용하였다. 적정 이송속도(f_a)는 근사함수에 적용함으로써 계산된다. 또한, 공구의 회전속도 또는 공구의 반경방향 절삭깊이 offset량으로 인한 절삭면적이 변화할 경우 위의 과정을 반복한다.

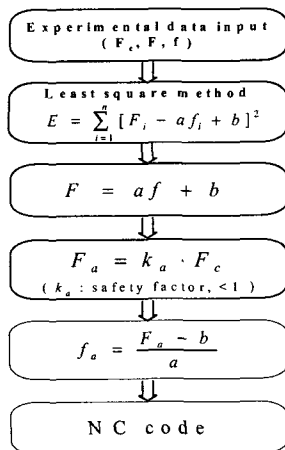


Fig. 10 Process of program

4.3 방전전극 제작

4.3.1 가공

실험에 사용된 가공기계는 FANUC controller를 탑재한 3축 수직 밀링 머시닝 센터(Hwacheon co., SIRIUS-2)이며 가공물을 테이블에 고정하기 위해 마그네틱 척을 이용하였다. 또한, 가공물을 마그네틱 척에 고정하기 위해 하단에 전도성 특수 집착체를 이용하여 금속을 부착하였다. 공구는 0.73mm의 R값을 가진 형상 엔드밀을 사용하였으며 NC데이터의 전송방식은 RS 232C를 사용한 DNC 방식이다. 가공경로는 직선과 원호 보간을 이용하여 작성하였고, Fig. 11(a)는 공구경로이며 (b)는 작성된 NC 데이터를 보여준다.

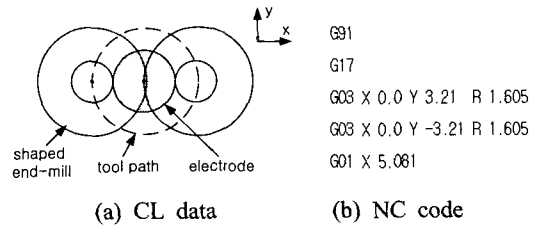


Fig. 11 CL data and NC code of shaped end-mill (R 0.73mm)

작성된 NC데이터를 DNC프로그램을 이용하여 3축 머시닝 센터에 보내어 가공한다. Fig. 12는 형상 엔드밀로 패턴가공한 정삭용 전극(Φ 1.42mm)들을 보여주며 오른쪽 상부 사진은 전극의 한 예를 확대한 것이다.



Fig. 12 Machined electrode

또한, 앞 절에서 언급된 두 가지 가공방법을 비교하기 위해 실제 형상 엔드밀(R 0.73mm)을 이용하여

공구의 회전속도를 3,500rpm으로 가공물에 두 가지 방법을 적용하여 각각 전극 60개를 가공하였다.

그결과, 이송속도를 50mm/min으로 1회 가공한 시간은 231.24초였으며, offset량을 1mm로 설정한 후 프로그램을 이용하여 적정 이송속도를 조절하여 2회로 단계가공한 시간은 218.94초였다. 단계가공한 경우가 1회 가공한 시간보다 12.3초 단축되었으며 표면조도 역시 좋게 나타났다. 또한, 동일한 공구를 이용하여 6,600rpm에서 가공한 결과 1회 가공시 30mm/min에서 파단되었지만 단계가공은 동일 이송속도에서 최종가공을 수행하였어도 파단되지 않았다. 위의 실험결과에서는 가공시간의 차이가 작지만 수(數)천 개의 전극을 대량생산할 경우에는 상당한 시간단축을 얻을 수 있다.

4.3.2 가공 검사 및 수정

가공된 최종형상은 오차를 가지는 경우가 있고 이러한 오차를 줄이기 위해서 검증 및 수정 단계를 거친다. 가공된 전극의 정밀도를 측정하기 위해서 단면 투영기(profile projector, Mitutoyo co., PJ500)를 이용하였다.

Table 2는 마이크로미터와 분해능이 0.001mm, 배율이 5-100배까지 가능한 단면 투영기를 이용하여 R(1.75mm)값을 가진 형상 엔드밀로 가공한 10개의 정삭용 전극(ϕ 3.48mm)의 측정 결과이다.

Table 2 Electrode diameter by micrometer and profile projector (unit : mm)

diameter electrode	DM	DP
1	3.470	3.469
2	3.472	3.468
3	3.470	3.474
4	3.472	3.476
5	3.470	3.469
6	3.470	3.477
7	3.470	3.467
8	3.470	3.477
9	3.475	3.477
10	3.475	3.477
average (A _v)	3.471	3.473
machining error (E _m)	0.009	0.007

note) DM : Diameter measured by micrometer
DP : Diameter measured by profile projector

마이크로미터의 측정값 DM과 단면투영기의 측정값 DP는 전극의 설계치수와 가공치수의 평균오차가 각각 0.009mm, 0.007mm이며, 본 연구는 단면투영기의 측정값을 활용하였다. 이것은 공구의 정밀도, 가공기계의 반복정밀도, 틀링의 오차 등 여러 가지 요인에 기인한다. 따라서, 위와 같은 가공오차를 보정하기 위해서는 가공경로 생성시 가공오차의 평균값을 반영하여 보정함으로써 전극의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 보정된 원호반경값은 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_t = \frac{\phi_d + E_m}{2} \quad (6)$$

여기서, R_t 는 원호 보간에 사용되는 보정된 원호반경값, ϕ_d 는 설계시 전극의 지름이며, E_m 은 가공된 전극 지름의 평균오차로 보정에 반영된다.

5. 방전가공

가공된 전극은 방전가공에서 절삭공구의 역할을 수행하며, 방전가공된 가공물의 지름은 전극의 지름보다 커지게 되는데 이것은 주로 방전에너지와 가공 전압에 따라서 치수가 변하게 된다. 이 오차를 방전갭(overcut)이라 하며 식 (7)과 같다.

$$C = \frac{\phi_E - \phi_m}{2} \quad (7)$$

여기서, C는 방전갭, ϕ_E 는 방전가공된 금형의 지름이며, ϕ_m 은 전극의 지름이다.

이러한 방전갭은 최종형상(LED금형) 치수외 오차요인이므로, 방전갭을 일정하게 유지하는 방전가공 조건을 선정하여 가공하는 것이 중요하다.⁽⁹⁾

전극으로 방전가공된 LED금형은 Fig. 13과 같으며 오른쪽 하부 사진은 확대한 모습을 보여주고 있다. LED금형을 이용하여 무선 장비에 들어가는 수광·발광 소자인 LED를 성형하며 Fig. 14는 LED 제품을 보여주고 있다.

Table 3은 방전가공용 전극에 대해 설계공정부터 방전가공까지의 치수 검사를 수행한 것이며, 전극의 설계치수 ϕ_d , 흑연전극의 치수 ϕ_m , 금형치수 ϕ_E , 방전갭 C 등을 보여준다.

Table 3 Diameter of electrode in processes and overcut (unit : mm)

tool	electrode type	process			
		ϕ_d	ϕ_m	ϕ_E	C
tool 1 (R 0.73)	roughing	1.20	1.21	1.30	0.045
	finishing	1.42	1.41	1.49	0.04
tool 2 (R 1.75)	roughing	2.90	2.91	3.04	0.065
	semi-finishing	3.30	3.31	3.51	0.10
	finishing	3.48	3.49	3.59	0.05

note) ϕ_d : Diameter of original design
 ϕ_m : Diameter by MC
 ϕ_E : LED mold diameter by EDM
 C : Overcut

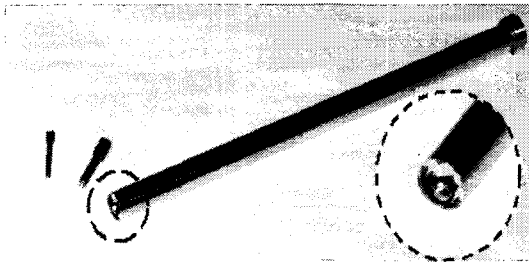


Fig. 13 LED mold machined by EDM

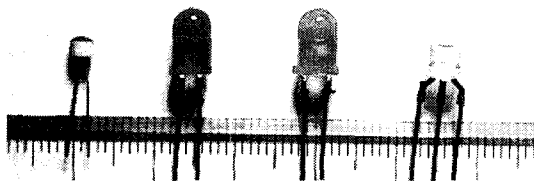


Fig. 14 LED

6. 결론

본 논문에서는 형상 엔드밀을 고속가공에 이용함으로써 LED금형 전극의 가공정밀도를 유지하고 생산성을 향상시키는 고정밀·고효율 가공을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 형상 엔드밀의 제작공정 및 형상 엔드밀의 특정 기하학적 형상에 따른 가공경로 생성원리를 이용하여 가공경로를 생성하였다.

2. 생산성을 향상시키기 위해 절삭력을 이용한 실험식 기반의 검증 프로그램을 통해 회전속도, 절삭깊이, 이송 등의 적정한 절삭조건을 선정하여 전극의 파단을 회피하면서 가공속도를 향상시켰다.

3. 정밀도 향상을 위해 가공 후 전극의 치수 정밀도 검사를 수행하여 고속가공시 발생하는 툴링 오차 등에 대한 보정을 가공경로에 포함하여 고정밀가공을 수행하였다.

참고문헌

1. H. Schulz, T. Moriwaki, "High Speed Machining," Annals of the CIRP, Vol. 41/1, pp. 637-644, 1992.
2. 강재훈, "환경성과 경제성을 고려한 고속가공기술 현황," 2001 한국정밀공학회지 공작기계 및 가공기술 세미나, pp. 49-62, 2001.
3. M. Nakamura, "EDM of Ceramics," Journal of the JSPE, Vol. 57, pp. 959-962, 1991.
4. 우정윤, 왕덕현, 윤준도, "펄스지속시간에 따른 형상방전가공 특성," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 827-831, 1997.
5. Masanori Kunieda, "Challenges in EDM Technology," Journal of the JSPE, Vol. 33, pp. 276-282, 1999.
6. 이준근, "세라믹스의 기계적 특성," 반도체출판사, pp. 25-32, 1994.
7. 유제구, "방전가공," 대광서림, 1988.
8. http://www.poco.com/edm/grade_3.html.
9. 최재용, 전연찬, 정재현, "방전에너지에 따라 동전극과 흑연전극이 방전가공면에 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제14권, 제5호, pp. 53-59, 1997.