

비구면렌즈의 설계 및 초정밀가공(2)

Design and Ultraprecision Machining of Aspheric Lens

金 政 斗*
Kim, Jeong Du

4. 비구면(非球面)의 초정밀 절삭

가. 개 요

종래의 광학부품으로서의 렌즈는 앞에서 설명한 바와 같이 구면형상이 주체이고, 연삭, 폴리싱(polishing) 등에 의하여 비교적 간단한 가공법으로 제작되었으나, 최근 광학부품의 고정도화, 소형화, 고배율화 등의 측면으로 볼때, 종래의 구면형상에서는 한계가 있고, 구면수차를 보정한 비구면형상이 필요하다. 비구면 가공기술은 각종의 방법이 제시되고 있지만 특히 플라스틱 렌즈용 비구면금형의 초정밀가공법이 관심의 대상이 되고 있다.

금형은 높은 강도나 내마멸성이 필요하고, 대부분 절삭에 의하여 1차 가공한 다음 열처리, 연삭, 연마 등의 공정을 거쳐 다듬질하여 완성되며, 초정밀절삭이 최종과정까지 이루어지는 데에는 고도의 기술을 필요로 하고 있다.

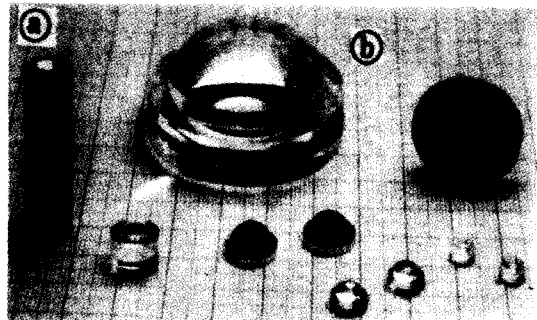
금형중에서도 형상정도와 표면조도에 대한 요구가 가장 엄격한 예는 플라스틱 렌즈 성형용의 금형이고, 그의 정밀가공법으로서 최근 초정밀절삭이 관심의 대상이 되고 있다. 플라스틱렌즈는 품질의 고급화, 기기의 경량화 및 가격화의 요구와 함께 최근 그의 중요성이 점점 높아지고 있다.

플라스틱렌즈의 성형법은 구면수차의 조정이라는 측면에서 광학적으로 중요한 역할을 하는 비구면렌즈의 유력한 가공법으로서 의의가 크고, 비구면금형만 완성되면 비구면렌즈를 구

면렌즈와 같이 용이하게 제작할 수가 있다. 그러나 종래에는 비구면금형을 만드는 것이 극히 어려운 기술로 인식되었으나, 최근 초정밀절삭의 개발과 더불어 비구면 금형가공의 유력한 가공법으로 그의 관심이 집중되고 있다.

나. 비구면가공기의 구성

그림 11은 플라스틱 렌즈용 비구면금형과 성형제품을 나타낸 것이다.



(a) 비구면 렌즈용 금형 (b) 비구면 렌즈

비구면 형상의 가공에 비하여, 구면형상의 가공은 구면형상 창성 원리에 기초를 두고 비교적 간단한 가공기로 고정도인 형상 창성이 가능한데 비하여, 비구면 형상 가공은 구면과 같은 창성 원리가 성립하지 못하고 다양한 가공방법이 시도되고 있다. 그중에서 최근 고정도인 CNC 비구면 가공기를 이용하여 기계의 운동을 가공물에 전사하는 것으로 비구면 형상을 창성하는 방법이 주목되고 있다.

* 機械製作技術士, 工學博士, KAIST 精密工學科 教授

비구면가공기의 설계에 있어서는 몇 가지 유의사항에 대하여 검토되어야 하며 일례로 가공물과 공구의 상대위치보중, 환경의 변화, 외란에 대한 가공물과 공구의 상대위치 보전, 가공물과 공구의 상대위치 한계가 가공물에 정확히 전사, 가공후 가공물을 고정시스템으로 부터 분리되었을때 형상정도가 변화하지 않는 취부방법, 운동의 자유도 및 진직도, 강성, 테이블의 위치검출 등에 대한 검토가 필요하다.

비구면 형상의 가공방법으로서는 초정밀 CNC 가공기로 비구면 형상을 창성하는 방법과, 형을 초정밀 CNC 가공기에 의한 비구면 형상으로 창성하고 사출 혹은 가압으로 성형진사하는 방법이 있다. 전자는 창성법, 후자는 replica 법이라고 부르며, 가공과정은 표 6에 나타낸 내용과 같다.

창성법은 초정밀도를 요하는 경우와 연성재료의 가공 및 비교적 대형 광학소자의 가공에 적합하고, 특히 최근에는 카메라용, 의료용의 렌즈 등에 적용되고 있다.

한편 replica 법은 비구면 형상으로 창성가공된 형을 이용하여 성형가공하기 때문에 생산성이 높고 적합하다. 이 방법으로 비구면 형상이 설계값으로 얻을 수 있을지는 형가공기술, 성형재의 수축, 열변형을 고려한 형설계기술과 성형기술에 좌우된다.

성형재는 광학소자의 수지와 광학유리가 이용되고, 수지성형용의 금형을 스텐레스 합금의 모재에 Ni-P를 피복한 재료가 이용되고, 다이아몬드 바이트에 의한 초정밀 절삭가공만으로 비구면 형상을 얻는다. 광학 유리의 경우는 형의 강도와 열강성에 대한 요구가 엄밀하고, 형재료로서는 열처리강과 세라믹스의 사용이 요망되며, 이 경우에는 다이아몬드 바이트 대신에 다이아몬드 지석에 의한 초정밀 연삭가공으로 비구면 형상을 얻는다.

기계의 기본구성은 3점지지의 서어보 에어 마운트로 지지된 석정(Granite) 테이블 상에 X축과 Z축을 각각 독립적으로 배치한 것에 의하여 양축이 서로 간섭하는 것을 피하고 있

〈표 6〉 비구면 형상의 가공프로세스

방법	가공 process	적 용 예
replica 법		- Camera lens
		- Finder - Pick-up lens - Projector lens
창 성 법		- Astronomical telescope
		- Laser Nuclear fusion
		- Aspheric mirror

으나, 주축의 구동계가 Z축 테이블상에 탑재 되기 때문에 구동계의 진동을 어떻게 최소화 하느냐가 문제가 된다.

특히 주축은 가공물과 공구의 상대변위에 가까운 위치에 관여하기 때문에 운동오차를 다른 구성 요소로 보상하는 것은 상당히 어렵 게 된다. 따라서 주축은 그 기본정도로서 매우 높은 것이 요구된다. 현재 요구정도에 대응하 는 베어링으로는 정압베어링이 있으며, 정압베 어링으로는 에어베어링과 유체베어링이 있으 며, 양자 모두 장단점이 있고, 발열량이 상대적 으로 적은 점등으로 에어 정압베어링을 채용 하고 있다. 또 주축의 회전 정도를 향상시키기 위하여, 주축의 구동으로는 다극 AC 빌트-인 모터를 채용하고, 극수를 통상보다 증가시키고, 특히 로터와 스테이터의 간격과 자기적인 unbalance를 경감시키면, 주축의 회전정도로 서 Axial 방향의 재현 정도는 좋게 얻어질 수 있다. 슬라이드 테이블의 중요 특성으로서는 진직도, 강성, 감쇄성, 마찰특성 등이 있으며, 그 기능을 효과적으로 발휘할 수 있는 구성은 에어슬라이드 또는 유정압 슬라이드 등이 있 다. 또 이송나사에 대하여서도 저마찰을 실현 시키기 위하여, 유정압베어링 등을 채용하고, 특히 이송나사에 대해서는 나사축의 radial error motion을 테이블에 전달하지 않는 나사 자신으로 흡수 할 수 있는 특수 형상의 정압 나사를 채용하여야 한다.

비구면 가공기에 있어서는, 슬라이드 테이블 의 위치제어 편차를 적게하기 위하여서는, 극 히 저속 상태로 가공이 이루어진다. 또 가공물 의 형상에 의해서는 Z축 테이블의 속도가 0에 가까운 상태로 가공되는 경우도 있다. 따라서 나사축의 구동모터는 0.01rpm 정도의 초저속 영역에서도 높은 속도제어 정도를 가지는 것 이 요구된다. 테이블위치검출에는 레이저측정 기를 채용하고 분해능을 0.005 μm 로 하고 있 다.

다. 렌즈 성형용 금형

직경 120mm 정도의 Video projector 투사 렌즈의 금형에는 1 μm 이하, 직경 7mm 정도 의 compact disk용 렌즈의 금형은 더욱 엄격 하여 0.1 μm 이하의 형상정도가 필요하게 되었 다. 표면조도는 산란을 최소한으로 억제하기 위하여 어느 정도 0.01 μm Rmax 이하가 요구 되고 있다.

또 플라스틱 렌즈의 사출성형 또는 사출압축 성형에 있어서는 500~1500 kgf/cm²의 성형 압력이 가해질 수 있으므로, 금형재료로서는 강도, 경도, 인성이 큰 재료를 선택하지 않으면 안되고 Al이나 Cu와 같이 연질로 초정밀 절삭 하기 쉬운 것은 사용할 수 없다. 하지만 구면렌 즈를 성형하기 위한 금형가공에는 종래부터 유 리구면 렌즈를 가공하기 위한 장치를 사용할 수가 있고, 공구나 지립, 가공조건을 적절히 선택함에 의하여, 비교적 용이하게 고정도의 금 형을 얻을 수가 있다. 이것에 대하여 비구면 금 형가공은 구면의 경우와 같이 창성원리가 없으 므로 극히 어렵고, 종래부터 각종 방법이 시험 되어 왔지만 결정적인 것이 없다.

종래의 비구면 가공법의 대표적인 공정에는 그림 12(a)에 표시한 것이고 열처리가 가능한 스텐레스 강(SUS 420 등)의 금형소재를 우선 CNC 선반에 의하여 비구면형상으로 황삭한 다. 계속하여 quenching, tempering 등 성형에 의한 강도와 경도가 주어진 뒤 정밀한 CNC 연삭장치로 연삭되어 정밀한 비구면 형상이 형 성된다. 그것만으로는 광학적경면(0.01 μm Rmax)을 얻기 어려우므로, 비구면형상을 래핑 및 폴리싱에 의하여 표면조도가 향상되어 금형 이 완성된다.

이 가공법에서 문제점은, 우선 정밀 CNC 연 삭에 있어서, 지식의 마멸에 의하여 형상정도 를 얻는 것이 어렵다. 연삭은 본질적으로 지립 의 탈락을 동반하며 가공이 행하여지는 것이므 로, 지식의 형상은 비구면의 형상 연삭의 개시 점으로부터 종료점에 이르기까지 서서히 변화 하고, 이것에 대한 적절한 대책을 강구하지 않 는 한 형상정도를 확보하는 것은 어렵다.

또 연삭에서 얻을 수 있는 표면조도는 통상 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m Rmax}$ 이고, 이것을 $0.01 \mu\text{m Rmax}$ 이하로 하기 위한 래핑, 폴리싱에서의 제거량은 많아지므로, 형상정도의 저하가 일어나기 쉽고, 긴 가공시간을 필요로 한다. 그림 12(b)에 초정밀 절삭을 중심으로 한 비구면 금형가공 공정예를 나타낸다.

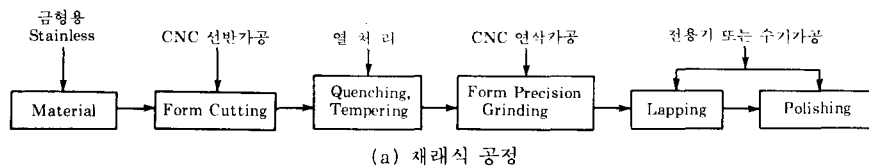
본 공정에서 금형 소재를 황삭절삭가공하고 quenching, tempering 하는 경우까지는 그림 12(a)에 나타낸 종래의 예와 같지만, 그 이후 표면에 무전해 니켈을 두께 $100 \mu\text{m}$ 정도 피복하고, 무전해 니켈층을 초정밀 CNC 선반을 이용하여 단결정 다이아몬드 바이트로 초정밀 절삭가공하여 극히 고정도의 비구면 형상을 얻는다. 이 단계에서 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m Rmax}$ 이하의 경면을 얻을 수 있다. 다이아몬드 바이트로 초정밀 절삭할 수 있는 재료는, Al이나 Cu와 그 합금이 중심이고, 철계 재료의 절삭은 다이아몬드 공구와 재료와의 화학반응 관계로 극히 곤란하다. 철계 재료의 절삭에서는 Fe를 촉매로 하여 다이아몬드가 흑연화 하므로 다이아몬드 바이트의 마멸이 급격히 진행하게 된다.

분위기제어에 의하여 다이아몬드의 마멸을 억제하고 철계재료를 초정밀절삭하는 연구도 진행되고 있지만 연질금속을 절삭한 경우보다 좋은 결과를 얻을 수 없게 된다.

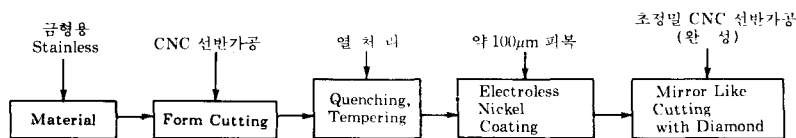
프라스틱 렌즈의 성형용 금형에 이용하는데

충분한 강도와 경도가 있고, 더욱이 다이아몬드 바이트에서의 초정밀절삭이 가능한 재료는 현재 무전해니켈(Electroless nickel) 피복이 가장 실용적이다. 무전해니켈 피복은 수소의 발생에 따른 화학반응이 생성하므로, Pin hole 이 없는 피복을 처리하는데도 고도의 기술을 필요로 한다. 또 스테레스강에 강한 부착력의 피복을 입히는데 전처리 조건등에도 충분한 검토가 필요하다.

무전해니켈 피복은 인(P)의 함유량과 열처리 조건에서 상태가 변화하여 가공성도 다르다. 렌즈 금형에 이용할 경우는 quenching 및 tempering 한 소재의 경도에 가깝고, 더욱이 비정질합금(amorphous metals) 상태인 조건이 바람직하다. 이상에서 설명한 초정밀절삭을 중심으로 한 금형가공법은 비구면 금형가공법으로서 극히 유력한 방법이라고 말할 수 있다. 초정밀 절삭후의 형상정도가 극히 좋고, 표면조도도 경면에 가깝다. 따라서 폴리싱(polishing)에서의 제거량이 극히 적은 상태에서도 완전한 경면에 이르므로, 이 공정에서의 형상변화를 극히 적게하고, 그것에 요하는 시간도 짧게된다. 또 비정질합금 상태의 무전해니켈 피복을 이용하므로 다이아몬드에 의한 초정밀 절삭 또는 폴리싱 공정에서의 결정입계단차의 발생이 나쁘고, 극히 양호한 표면조도가 쉽게 얻을 수 있다.



(a) 재래식 공정



(b) 최신공정

그림 12 비구면 렌즈용 금형가공 공정

라. 비구면의 설계와 가공용 Software

비구면렌즈는 구면수차나 축외의 수차를 보정하는 것이 유효하다. 광디스크의 픽업렌즈의 경우는 초점거리에 대하여 개구수가 크기 때문에 일정한 상고내에서는 무수차인 스포트상이 필요하다. 일반적으로 축상광속과 이 근방에서 무수차 렌즈를 실현하려면, 구면, 수축변형 수차가 공히 보정된 aplanatic 렌즈이어야 한다.

축대칭 비구면에 있어서 그 중심을 원점으로 하고, 반경 $r = \sqrt{x^2+y^2}$ 에 있어서 비구면의 축방향좌표를 Z로 할때, 일반적으로 Z와 r의 관계는 다음 다항식으로 표현된다.

$$Z = \frac{r^2/R_0}{1+\sqrt{1-(1+x)(r/R_0)^2}} + \sum_{i=1}^n C_{2i} r^{2i} \dots\dots\dots(1)$$

다만, R_0 : 곡률반경($r=0$ 에 의한 곡률반경)
 x : 원추정수, C_{2i} : 비구면계수
 여기서 $x=0, C_{2i}=0(i=1\sim n)$ 이라면 (1)식은 구면을 나타낸다.

CNC 제어장치의 보간기능은 일반적으로 원호와 직선이므로, NC 테이프작성에 있어서는 (1)식으로 표현되는 곡선은 그림 13에 나타낸 것과 같이 군에 의하여 분할하고 근사값을 지정한다. 이로 인하여 원호군의 접속점에서의 접선이 연속이고, 더구나 분할구간 폭이 근사

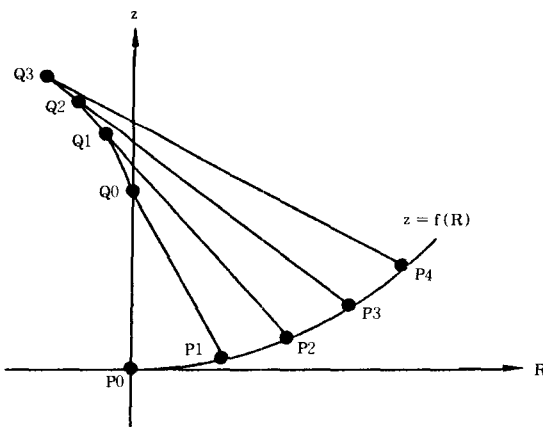


그림 13 비구면곡선의 원호 분할

허용오차 범위내에서 최대가 된다. 즉 그림 14에서 보는 바와같이 $P_0(r_0, z_0)$ 에 있어서의 법선과 반경이 Δ , 만큼 떨어진 점 $P(r, z)$ 에 있어서 법선의 교점을 $Q(u, v)$ 로 한다. 이때 $\delta = |QP - QP_0|$ 를 생각하고, 이것이 허용오차 ϵ 이면 곡선 POP는, 점 Q를 중심으로하고, 반경 QPO의 원호에서 근사치가 된다.

이와같은 조건을 만족하게하고 최대의 Δ 를 점차적으로 구하는 것에 의해서 가장 경제적인 원호에 의한 분할이 가능하다. 이와같이 원호에 의하여 분할한 후, 그 반경이 CNC 제어장치로 결정되는 최대치를 넘는 원호에 대해서는 이것을 허용오차 범위내에서 가장 적은수의 직선군에서 재분할된다.

마. 비구면 형상계측

비구면 형상계측에는 대별하여, 광학적 방법과 기계적 방법이 있다. 전자의 대표적인 방법은 계산기 hologram법이고, 광파장의 수분의 1정도가 얻어지지만 피측정 대상마다, hologram을 만들지 않으면 안되고, 가격이 고가이며 범용상에도 미치지 못하는 문제가 있다.

후자의 경우는 3차원 측정기로 최근 개발된 초정밀 3차원 측정기로 에어베어링 방식 고정도 테이블에 X, Y, Z의 각축에 레이저 간섭측정계를 채용하여 비구면 형상 계측기술이 실현

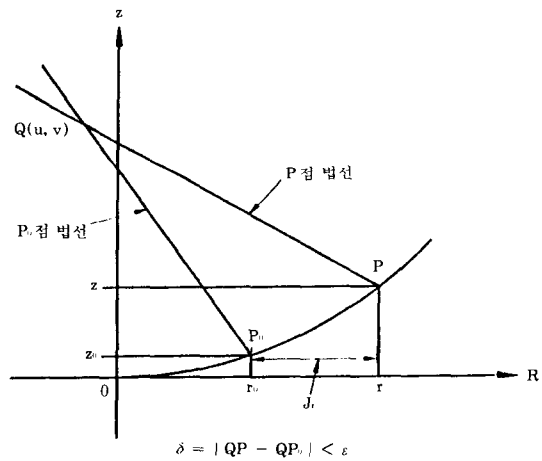


그림 14 원호분할의 원리

된다.

비구면 형상이 초정밀 평가에는 고정도의 측정기와, 측정데이터를 바르게 평가하기 위한 Software가 필요하게 된다. 비구면 형상은 (1)식으로부터 얻어지지만, 한편 측정데이터는 측정기를 기준으로하여 측정된 비구면상의 좌표 (X_i, Y_i, Z_i) 의 집합이다.

따라서 비구면의 광축이 측정기의 좌표축에 일치하여 있으면, 측정데이터를 (1)식과 비교하여, 비구면의 형상 평가가 가능하다. 그러나 비구면 자신의 오차, 피측정물 설치시의 경사 등에 의하여, 통상비구면과, 측정기의 좌표축에는 광축의 편심, 경사가 있고 측정 데이터를 바로 (1)식과 비교하면 그것이 바로 형상평가가 된다. 금형에 있어서는 밀면의 기준면을 기초로하여 렌즈 형성면을 가공하기 때문에, 광축의 편심, 경사는 비교적 적지만 렌즈의 경우는 측정기로의 설치 오차를 최소화하는 것이 많은 시간을 요하게 된다. 따라서 렌즈를 포함한 비구면 형상을 단시간에 바르게 평가하는데에는, 비구면을 단면만이 아닌, 입체적으로 복수의 단면을 측정하고, 측정데이터 자체에서 역으로 비구면의 광축을 구하는 것이 바람직하다.

비구면의 광축을 구하는 수법은 측정 데이터를 x, y, z 각축 방향으로의 평행이동과, x, z 면내 및 y, z 면내에 있어서 회전이동에 의하여 좌표 변환하고 다음식에서 나타낸 S 를 최소화하는 것이다.

$$S = \sum_{i=1}^n \{Z_i - Z(X_i, Y_i)\}^2 \dots \dots (2)$$

여기서 Z_i : 좌표 변환된 측정데이터

$Z(X_i, Y_i)$: (1)식으로부터 부여된 설계치이다.

바. 가공공구

비구면 형상의 초정밀금형 가공에는 단결정 다이아몬드바이트가 이용된다. 다이아몬드 바이트에 의한 가공은, 고강도, 고 내마멸성, 분활성, 예리한 인선등의 특성에 의하여 절삭조

건, 환경조건, 주변기술 등을 정리하면 $1\mu m$ 이내의 전사성을 나타내는 것이 확인되었다. 문제점으로는 가공가능한 재료가 Al, Cu, 무전해 Ni, 아크릴 등에 한정이 있다는 점이고, 동시 2축 제어의 기계로 가공하는 경우는 필연적으로 R형상의 바이트를 이용하지만, 이로 인하여 바이트의 R형상 오차와 다이아몬드의 결정방위에 의한 절삭성 차의 영향이 가공형상의 오차로서 나타난다. 바이트의 R형상 오차는 $0.1\mu m$ 전후의 형상 정도를 가지는 바이트 구입이 가능하고 가공제품의 요구정도도 $\lambda/10(\lambda=0.632\mu m)$ 으로 점점 엄밀하여지고 있다. 따라서 바이트를 높은 형상정도로 성형하는 제작비 문제와, 결정방위에 의한 절삭성의 문제가 있을 수 있으므로 그림 15에서 보는 바와 같이 바이트가 항상 동일한 점에서 절삭할 수 있도록 회전 제어되는 선회테이블을 설치하는 방법이 고려되고 있다.

이 방법으로는 바이트의 형상정도의 가공물에 대한 전사성, 다이아몬드의 결정방위에 의한 절삭성의 차등을 배려할 필요가 없고, 또 바이트의 일부가 마멸된 경우는 바이트의 절삭점을 변화시켜 다른 점에서 절삭이 가능하게 되는 이점이 있다.

표 7은 초정밀 절삭에 의하여 얻을 수 있는 경면 정도를 나타낸 것이다. 절삭경면을 얻을 수 있는 비구면 정도는 표면조도 $0.02\sim 0.05\mu m R_{max}$ 으로 현재까지 알려진 몰드에 의한 비구면보다 고급제품을 얻을 수 있다.

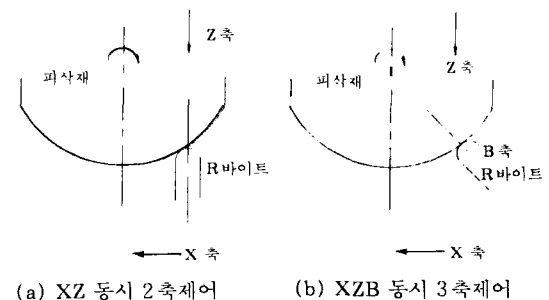
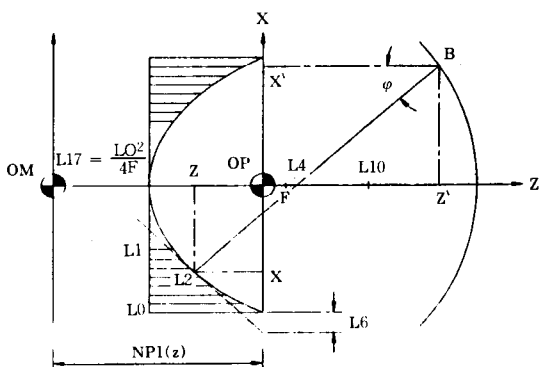


그림 15 바이트 인선 정점절삭

〈표 7〉 초정밀절삭에 의한 경면가공 정도

명 칭	가공방법	피삭재	정 도	용 도
비구면경	선삭	무 산 소 동 알루미늄합금	표면조도 0.02~0.05 μmRmax 형상정도 0.3~1.0 μm	레이저가공기
구면렌즈 비구면렌즈	선삭	프 라 스 틱	표면조도 0.02 μmRmax 형상정도 0.1~1.0 μm	카메라, VTR 카메라, 콘택트렌즈
평면·구면경	플라이커터	무 산 소 동	표면조도 0.02~0.05 μmRmax	레이저가공기
폴리곤 미러	플라이커터	알루미늄합금	표면조도 0.01~0.02 μmRmax	레이저프린터
자기 디스크	선삭	알루미늄합금	표면조도 0.006~0.01 μmRa	하드디스크
감광드럼	선삭	알루미늄합금	표면조도 0.05 μmRmax	복사기

그림 16은 비구면 CNC 가공용 파라미터를 나타낸 것으로서 몇 개의 주어진 파라미터를 입력하면 작성된 소프트웨어에 의하여 CNC 가공할 수 있다. 물론, 여기에서 비구면의 경면 절삭을 한다는 것은 그림 17에서 설명하고 있는 바와 같이 공작기계·기계요소, 공구, 기능, 피삭재, 평가·계측 및 환경등이 필요 조건에 부합되어야 한다.



- L0 = X start cutting position
- L1 = X end position
- L2 = Contour feed "C"
- L3 = X interval for constant "C"
- L4 = focus "F", parabol
- L5 = Tool-point offset "R"
- L6 = X non cutting travel
- L7 = 2 L4 (2F)
- L8 = L0 + L6 X start position
- L9 = L2 X-axis speed X
- L10 = Z-start position tool point
- OM = Zero point machine
- OP = Zero point program
- NPI(z) = Zero point shift

그림 16 비구면 CNC 가공용 파라미터

그림 18은 Philips 중앙연구소에서 개발한 비구면렌즈 가공용 초정밀 선반으로 주축에는 에어베어링을 채용하고 있으며 여기서 사용되는 비구면 경면절삭용 단결정 다이아몬드 바이트는 노오즈 반경이 R 0.01~2.0이며 진원도 값은 0.15 μm 정도의 범위를 사용한다. 한편 단결정 다이아몬드 바이트는 절정의 방위에 따라 경도가 현저히 다르며 이 정도의 이방성은 다

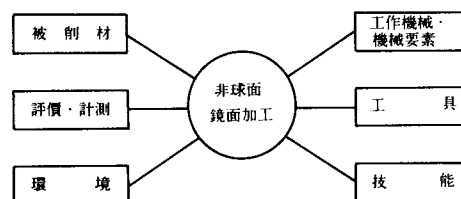


그림 17 비구면 경면가공을 위한 주변기술

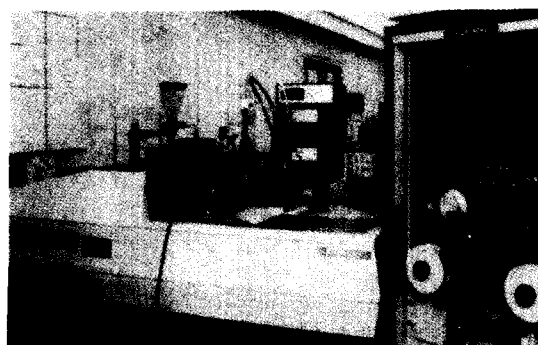


그림 18 비구면 가공용 초정밀 CNC 선반 (Philips 중앙연구소 개발)

다이아몬드의 결정구조에서 정성적으로 설명하는 것이 가능하다. 다이아몬드 단결정의 면은 $\{111\}$, $\{100\}$, $\{110\}$ 의 3개이다.

단결정 다이아몬드 바이트의 결정방위가 서로 다른 다이아몬드를 공구로 사용하면 절삭상태가 변하고, 마멸도 다르게 나타난다. 또한 이러한 차이는 다이아몬드의 원석의 성질에 따라서도 그 차이가 있다고 말하지만, 그것이 비구면 경면 절삭공구로서 이용한 경우 어떤 요인에 의하여 어느 정도 영향을 미치는가는 대단히 중요하다.

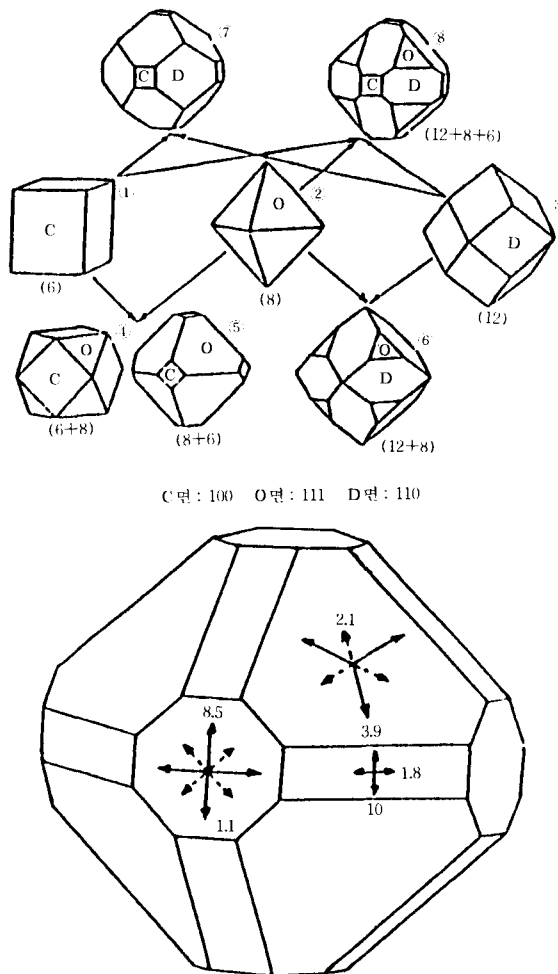


그림 19 단결정 다이아몬드의 결정형과 내마멸성

그림 19는 단결정 다이아몬드면에 의한 내마멸도를 표현한 것으로 숫자가 클수록 마멸이 되기 쉬운 정도이다. 실선의 화살표는 연삭가공이 쉬우며, 점선의 화살표는 연삭가공이 어려운 방위를 나타낸 것이다. 여기에서 주목하여야 할 사항은 동일면 내에서도 방위에 따라서 현저히 다르다는 것을 알 수 있다.

또한, 다이아몬드 원석의 결정외형으로 3가지의 중요한 면을 갖고 있다. 즉, c면(cube), o면(octahedron), d면(dodecahedron)에 상당하는 면이 있다. 실제 가공에는 고도의 숙련과 경험에 의하여 결정면과 결정방위를 판정하고 계측(측정(X선 각도계)과 더불어 각 공정에 의한 최적가공방향을 정확히 진단하여야 한다. 특히 최초의 유의하여야 할 것은 원석검사로서 중요한 공정의 하나이다.

그림 20은 초정밀 CNC 선반에 의한 비구면 렌즈 성형용 금형의 가공상황을 나타낸 것이다. 프라스틱의 성형용 금형으로 사용하기에 충분한 강도와 경도를 갖으며, 다이아몬드 바이트로 절삭 가능한 재료중에서 유일하다고 말할 수 있는 무전해 니켈 도금이다.

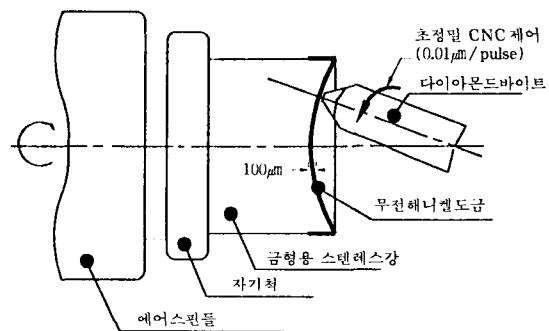
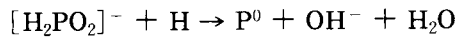
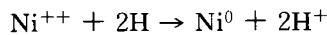
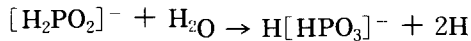


그림 20 초정밀 CNC 선반에 의한 비구면금형의 가공상황

무전해 니켈 피복은 다음과 같은 반응에 의하여 생성하는 것이고 본질적으로 수소의 발생을 동반한다.



따라서, Pin Hole이 없는 도금을 행하는 것이 고도의 기술을 필요로 한다. 또, 스텐레스강에 부착력이 강한 도금을 입히는 문제와 전처리 조건 등에 충분한 검토가 필요하다.

그림 21은 미국 Moore Special Tool사의 Aspheric Generator(비구면 창성기) MG-18A의 장치 구성을 나타낸 것으로서 주된 사양은 표 8과 같다. 본기는 최하단 전후 방향에 이동하는 Z테이블이 있고, 그위의 좌우 방향으로 이동하는 X테이블이 설치되어 있다. 이 테이블의 이동직선도는 $0.5\mu m$ 이하로 그 정밀도가 양호하다. 최상단에는 공구대가 설치된 로타리테이블(B축)이 탑재되어 있다. 피가공물은 강성이 극히 좋고, 회전정도가 양호한 정압 에어베어링으로 지지된 스핀들에, 전자척 또는 진공척으로 취부된다.

X, Z축의 이동은 분해능 $0.01\mu m$ 으로 레이저 간섭 측정계에 의하고 B축의 회전을 분해능 10^{-6} 회전으로 로타리 엔코더에 의하여 검출되고, CNC 제어장치에 피이드백 된다. 이 X, Z, B축의 운동은 Allen Bradley 사제의 CNC 제어장치(Model 7320)에 의하여, X, Z

〈표 8〉 Main Specification of M-18A

분 류	항 목	사 양
작 동 범 위	X축 스트로크	400mm
	Z축 스트로크	225mm
	B축 회전 각	360°
스 핀 들	베어링 형식	정압에어베어링
	베어링 강성 Radial	46kg/ μm
	Axial	180kg/ μm
	회전정도 Radial	0.075 μm 이하
Axial	0.050 μm 이하	
회 전 수	50~2000rpm	
X, Z테이블	안 내 형 식	V 안내, 로타식
	X, Z축 직선도	0.5 μm 이하
	X, Z축 직교도	1sec이하
	구 동 방 식	ACME 나사, DC 모터
	측 장 계	레이저간섭측장계
측장계 분해능	0.01 μm	
로타리테이블 (B축)	구 동 방 식	워엄, DC 모터
	회전각 측정계	로타리 엔코더
	회전각 분해능	10^{-6} 회전(1.3sec)

축은 $0.01\mu m/pulse$ 로 동시 3축 제어된다.

B축은 공구의 축이 항상 비구면 곡선의 법선 방향에 확보되게 제어하기 때문에, 항상 공구의 동일점에서 절삭하는 것이 가능하고, 동시 2축 제어의 경우와 같이 공구의 선단 R의 정도가 형상 정도에 영향을 주지 않는다.

5. Elid에 의한 비구면(非球面) 렌즈의 초정밀 연삭

그림 22 (a)는 Rank Pneumo사의 초정밀 비구면 가공기이며, 여기에 다이아몬드 지석과 Elid 드레싱을 적용하여 그림 22 (b)에서 보는 바와 같이 비구면렌즈를 완성가공하였다. 즉 이 방법은 최근에 개발된 방법으로 지석입자 #1000 이상에서 문제시 되었던 드레싱 문제를 Elid 방식이 개발됨으로서 획기적 전환기를 맞게 되었다.

Eild 방법은 종래 사용하는 방법과 근본적으로 상이하며, Cast Iron Bonded Grinding Wheel에 적용하여 이 방법을 사용하면 Sili-

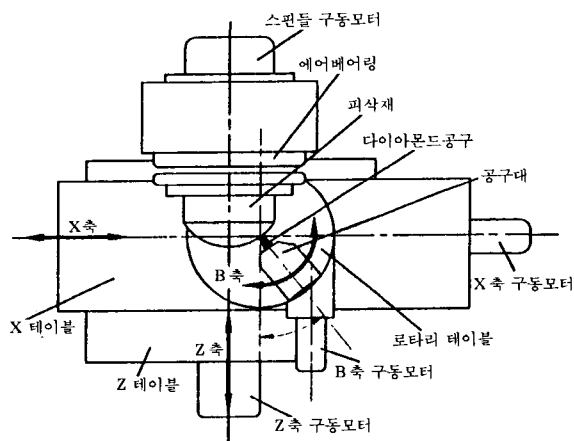
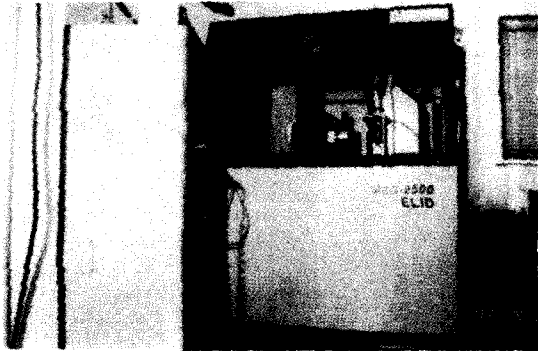
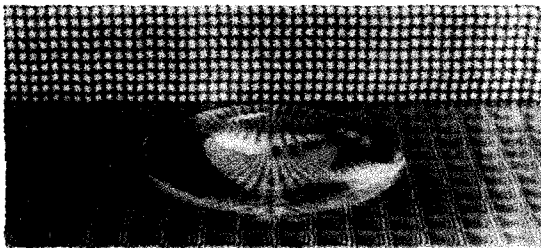


그림 21 Aspheric Generator의 구성



(a) 비구면 연삭기



(b) 비구면 렌즈

그림 22 초정밀 비구면 가공기(Rank Pneumo 사) 및 비구면 렌즈 연삭예

con, Ferrite, Ceramics 등의 Brittle 한 재료로부터 Steel, Al 합금은 물론 비구면 렌즈용 재료인 유리 및 프라스틱까지 초정밀 경면 가공(Mirror Finish)할 수 있다. (표 9 참조)

<표 9> Elid 정면 연삭 대상 재료

경취재료	연성재료	기 타
세라믹스	소결금속재	금속간 화합물
초경합금		
사파이어	하이드, 다이스강	세라믹스 복합재
유 리		
웨어이트	스텐레스강	금속 복합재
실 리 콘	티탄합금	CFRP
Ge, 수정	강 재	프라스틱

그림 23은 비구면렌즈용 Elid 연삭장치를

나타낸 것이며, Elid Dressing은 전기분해(Electrolytic Solution)에 의한 (+)극의 요출을 이용하는 Dressing 방법으로서 Metal Bonded Wheel에 효과가 현저하게 나타난다.

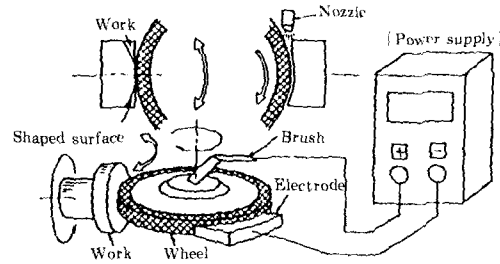


그림 23 Elid를 이용한 비구면 Curve Generator

그림 24는 Elid의 원리를 설명하고 있다. Wheel과 Gap사이를 0.1mm를 주고 Grinding Wheel과 대응하고 있는 상태로 전극을 설치한다.

Pulse 형의 DC-Power를 사용 Wheel의 Metal Bond의 Metal 이 Ion이 되며 요출하게 된다. Metal 부분만이 요출되기 때문에 Grit가 돌출하게 됨으로서 Dressing의 효과가 얻어진다.

이때 전해작용은 어디까지나 Wheel에만 일어나고 Workpiece에는 일어나지 아니한다.

전해연삭시 사용되는 지식은 메탈본드 특히 주철 화이버본드 지식이 비구면렌즈 재료인 유리 및 프라스틱 정면연삭에 효과가 있다.

6. 맺 음 말

선진국의 비구면렌즈 착용율이 총인구의 5% 수준으로 올라있으나 우리나라의 응용은 극히 미미한 상태이고, 특히 비구면렌즈의 설계 및 생산 기술은 개념도입 단계에 있다. 일부 비구면렌즈 업계에서 몰드형 자체를 수입에 의존하여 부분적으로 시제품을 생산하고 있는 실정임을 고려할 때, 비구면렌즈에 대한 설계 및 가공

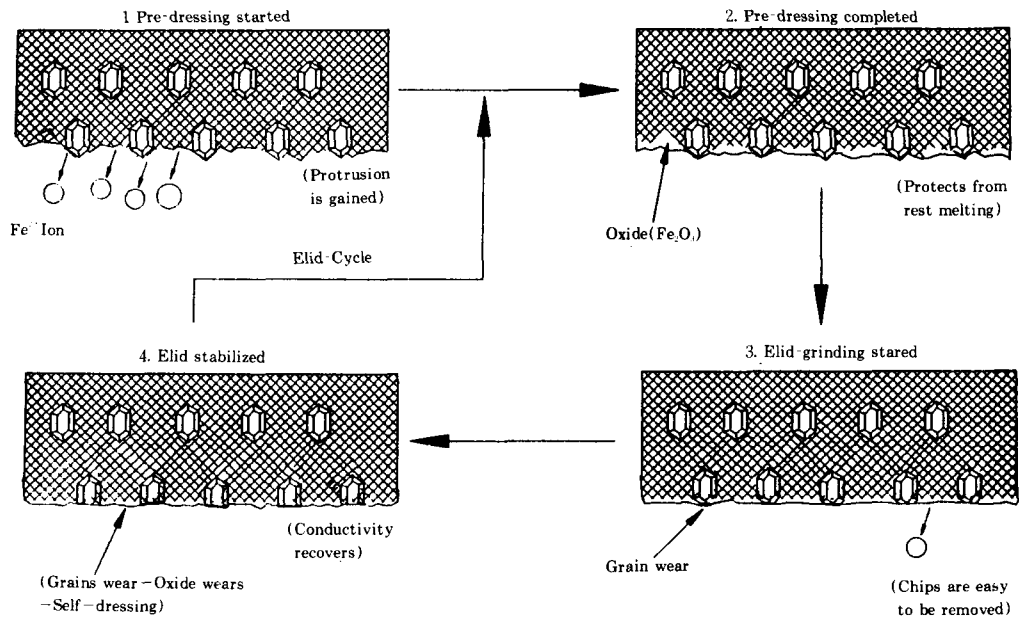


그림 24 Elid의 원리

개발이 시급히 요청되고 있다.

비구면 가공은 최근에 와서 다양한 소프트웨어의 개발과 함께 초정밀 절삭 또는 연삭 가공만으로 완성함으로써 획기적인 가공방법이 개발되었을 뿐만 아니라, 비구면렌즈의 응용범

위도 점차 확대되고 있는 실정이다. 특히 CD용 비구면의 형상 정도가 $0.2\mu\text{m}$ 이 내임을 감안할때 비구면렌즈에 대한 초정밀가공 방법의 개발과 정확한 측정평가가 선결되어야 할 것이다.