

# 도광판 금형의 초정밀 · 고능률 가공 기술 동향

글 / (株)岡本工作機械製作所  
한국대리점 : ㈜인히코퍼레이션

본고는 지난 8월 25일과 26일 양일간에 걸쳐 산업기술대학교에서 주최한 제3회 초정밀 광학클러스터 기술 세미나에서 일본 (株)岡本工作機械製作所(Okamoto Kazuo Watanabe)가 발표한 '도광판 금형의 초정밀 · 고능률 가공기술 동향'에 관한 내용이다. 액정 Display의 고정도화, 대형화, 경량화, 박막화, 저소비전력화 등 기술적 발전의 한 부분을 담당하고 있는 도광판과 관련하여 현재 도광판 가공기 분야에서 독보적인 기술적 위치를 차지하고 있는 이 회사의 「도광판 금형 가공기 LCD Series」의 기본 특징 및 최신 기능에 대한 소개를 통해 도광판 가공기술에 대한 기술 및 시장 상황을 가능해 볼 수 있으리라 예상된다.

〈편집자 주〉

도광판이란 액정 Display 내에서 광을 액정 Cell로 유도하는 투명판으로 액정 Display의 고정도화, 대형화, 경량화, 박막화, 저소비전력화 등의 기술적 발전의 한 부분을 담당하고 있고 기술적 장애물이 점점 높아지고 있다.

후대 전하는 해상도가 이미 1 Mega Pixel을 초과하여 200만, 500만 화소 시대를 맞이 했다.

향후는 보다 고정밀한 촬영 화상 요구나 TV기능 부착형 등의 다기능화 대응이 요구되고, 어떻게 적은 Energy로 보다 밝은 액정 화면을 구현할 것인가가 Point로 된다.

이러한 필요성에 대응하기 위하여 광학 설계는 지금까지의 단순한 홈 가공으로의 한계를 느끼고 보다 복잡한 형상이 요구되고 있다.

금회는 초점을 제한하여 복잡화하는 광학 설계에 대응 할 수 있도록 진화, 발전을 추구하고 있는 동사의 「도광판 금형 가공기 LCD Series」의 기본 특징 및 최신 기능을 소개하겠다.

동사는 2001년에 Linear Motor 구동을 채용한 최초의 도광판 가공기 LCD 315Li를 발표했다. 본 가공기는 Linear Motor 구동 초정밀 성형 연삭반을 Base로 Linear Motor와 연삭반 제조에서 축적한 기술을 융합시킨 제품으로서 가공 시간을 종래의 가공기에 비하여 1/5로 단축하고 게다가 면조도를 2nm까지 올리는 것으로 도광판 금형 가공에서 최고로 중요한 휘도(투광성)

얼룩, 찌그러짐이(왜율)이 없는 고품위의 가공면을 형성하는 것이 가능하다는 높은 평가를 받고 있다(그림 1, 그림 2).

## 1. LCD 315 Li의 특징

### ① 직교 3축의 초정밀 평면 연삭반을 Base로 개발:

- 성형 연삭반의 최고봉을 자랑하는 불협형 Column채용의 고강성 초정밀 성형 연삭반을 Base로 '도광판 금형 전용기'로써 개발한 것이다.

### ② Table 좌우 이송 구동에 Linear Motor를 채용(그림 3)

- 고속 Table 구동은 단위 시간당의 Table 왕복 회수가 증가하고 가공 시간을 종래의 1/5로 단축했다. 이것은 대단히 중요한 것으로 단시간에 가공을 할 수 있다는 것은 외부로부터의 열 변위, 피삭재의 열 변형, 진동 등의 악영향을 최소한으로 억제할 수가 있다. 이것은 초 정밀한 정도가 요구되는 도광판 금형의 가공에서는 획기적인 것으로 가공 정도, 면조도, 면의 균일성의 향상에 기여하고 있다.

또 비접촉 구동이기에 때문에 Ball Screw구동에 비하여 수명이 길고 소음, 진동이 없고 주기적인 Wave(Feed Mark) 등이 없는 가공면이 얻어진다.



그림 1. LCD315Li의 외관



그림 2. 작업하기 쉬운 폭 넓은 창



그림 3. Ceramic Table과 V-V 미끄러짐 안내면

③ Table 좌우 안내면에 V-V 초정밀 특수 부드러운 안내면을 채용(그림 3)

- 연삭반 Maker인 당사가 장시간 축적해 온 미끄러짐 안내면과 Linear Motor의 채용으로 가공 면 조도와 진직도의 향상을 달성했다. 이 미끄러짐 안내면과 Linear Motor의 조합은 타사에 없는 동사 독자의 기술이다.
- 면접촉이므로 고진동 흡수성, 고강성(정압 안내, Ball, Rolle의 안내에 비하여)이다.
- 수명이 길고 소음, 진동이 없으므로 정도 안정성이 뛰어나다.
- 가공 면에 정량적인 Feed Mark가 없다.

④ Planner 가공 방식을 채용

- 가공 시간, Diamond Bite의 마모, Chipping에 의한 가공 면의 노화, Cutter Mark가 없는 등을 고려하면 Fly Cut 가공 방식에 비하면 상당히 유리하다.

⑤ 특수 절삭 Cycle Soft —  $\alpha$  Cycle(특히 출원 중)

- 절삭 시는 Table이 저속 이동  $\Rightarrow$  반전 시 Bite가 수  $\mu$ m 상승  $\Rightarrow$  Return시는 Table이 고속 이동.

- 이 동작을 반복하는 Cycle Ceramic제 Table을 채용(그림 3) 열 변위가 적기 때문에 정도 안정성이 뛰어나다.
- 경량화가 가능하고 Table 구동용 Linear Motor의 발열을 경감할 수 있다.

⑥ Table 부상(떠오름) 방지 대책

- V-V미끄러짐 안내 면을 채용하고 있기 때문에 상하 방향의 구속이 없다. 여기서 동사에서는 Table을 자력으로 아래 방향으로 잡아 당기는 것으로 Table의 부상(떠오름)을 방지하고 있다(특히 출원 중).
- Table의 질량이 증가하지 않으므로 좌우 반전 시의 Shock의 기인이 되지 않는다.

⑦ 기계 전체를 Cover하는 Machine Cover 채용(그림 1 참조)

- 기계 설치 장소는 항온실이 필요 조건이지만 그 항온실 안에 또 하나의 항온실이 있는 Image 이다. 항온실 내의 기류에 의한 가공부로의 열 변이를 최소로 억제하고 있다.
- 기계 전체를 Cover하는 Machine Cover중에 있는 기계 본체는 나체 상태로 Cover 등의 취부를 최소한으로 하고 있다. Cover로부터 발생하는 진동, 응력을 제거할 수가 있었다.

⑧ 열, 진동의 발생원은 항온실의 외부에 기계로의 열, 진동의 영향을 제거하기 위하여 열, 진동원으로 되는 것은 전부 항온실의 외부에 설치했다(전장 Box, 냉각용 장치, 집진 장치, Air Dryer 등).

⑨ 초 미량 특수 Oil Mist 장치

- 절삭점에서의 윤활은 대단히 중요한 Factor이다. 윤활의 좋고 나쁨으로 가공 면의 상태가 달라진다.
- 기름, Air의 유량과 압력, 분사 방향이 Point로 된다.



그림 4. Assembly용 항온실

Oil Mist가 너무 강하면 Chip이 찰라지거나 잘라지거나 하여 가공면에 악영향을 준다.

- 압축된 Air가 대기 중에 방출되면 여기에서 온도 변화를 일으키므로 미리 Air 온도를 Control하여 방출한 때에 실온과 동일한 온도가 되도록 하고 있다.
- 절삭 후의 Chip이 Work 상면에 부착하지 않도록 복수의 Nozzle을 사용한다.  
Chip이 부착되어 있으면 Diamond Bite의 Chip 영김이나 상면에 Scratch가 발생한다.
- 절삭액은 절삭 시에 Diamond Bite와 Work의 접촉점에 도달하도록 침투성이 좋은 것을 사용한다.

⑩ 분해능 2nm, 최소 설정 단위 10nm

- 위치 결정 정도의 안정, Closed Loop에 의한 편차의 경감이 되어 있다.

⑪ 항온실에서의 Assembly(그림 4)

- User가 사용하는 항온실의 환경(온도, 습도)과 동일한 상태

로 설정하여 그 안에서 기계의 조립, 검사 작업을 한다. User에 기계를 설치 한 후 어떻게 빨리 합격품을 만들 것인가를 고려한 결과이다.

2. 도 광 판 금 형 가공 기 의 신 전 개

① 제 변 가공【NC바이트 선회 장치(횡 방향)】

- 홈마다 Diamond Bite를 선회시켜 각도를 변화시켜 가공할 때에 사용한다.
- Diamond Bite를 시계의 추(Pendulum)와 같이 선회시키는 장치이다.
- 선회 중심을 Bite의 날 끝 선단에서 하는 방법이 정도적으로 유리하지만 날 끝 선단을 선 회전 중심에 Sub Micron으로 맞추는 것이 매우 어렵다.
- 날끝 선단으로부터 떨어진 위치에 선회 중심이 있으면, 선회 후에 날끝 선단의 좌표 위치가 틀어져 버린다. 이 문제는 선회 반경과 선회 각도로부터 틀어짐을 계산하여 그 값을 축이동으로 보정하는 것으로 해결할 수 있다.
- 선회 반경을 정확하게 측정할 수 있는 Know-How를 취득할 수 있고(특히 신청 중), 정확한 보정을 실현할 수 있다.
- 회전 각도 :  $\pm 180$ 도, 최소 설정 단위 : 0.0001도, 바이트 최대 4개 부착
- 선회 장치는 NC선회와 수동 선회의 2 Type을 준비하고 있다(그림 5, 그림 6).

② S자 가공【NC바이트 선회 장치(종 방향)(그림 7)】

- 직선 홈이 아니고 원호 형상의 홈, S자형상의 홈을 가공할 때에 사용한다.
- Diamond Bite를 법선 방향으로 선회시키는 것으로, Diamond의 형상이 홈의 진행 방향에 대해서 항상 같은 방향을 유지한다.

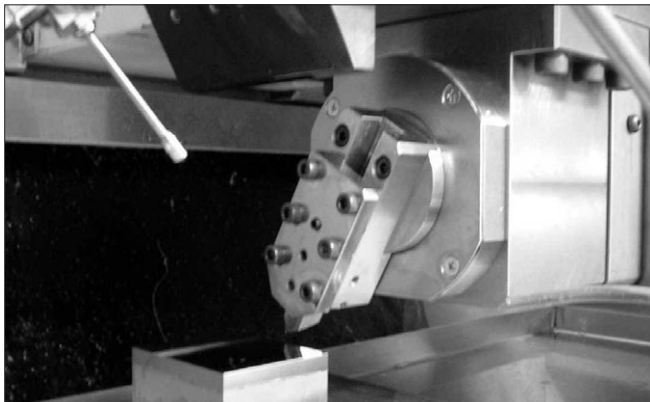


그림 5. NC바이트 선회 장치(횡 방향) : NC선회



그림 6. 바이트 선회 장치(횡 방향) : 수동 선회





그림 7. NC바이트 선회 장치(중 방향)

- Diamond Bite날 끝을 선회 중심과 맞추기 위한 2축 Slide Table이 준비 되어 있다(수동 조작).
- **개요사항** : 회전 각도 :  $\pm 180$ 도, 최소 설정 단위 : 0.0001도, 바이트 1개 부착

### ③ INDEX TABLE, Rotary Table(그림 8)

- Work의 Index, 원호 형상의 홈 가공 등에 사용한다.
- 원호 형상의 가공에서는, 동시 2축을 사용한 원호 보간 가공이 아니고, Rotary Table 1축에서의 가공을 하므로, 가공면이 깨끗하다.
- 가공 밀도의 향상을 한계까지 추구한 결과, 회전축에 Air Bearing을 채용했다.
- Air Bearing의 회전 규격 정도 Radial 방향  $0.03\mu\text{m}$ , thrust 방향  $0.05\mu\text{m}$ 를 그대로 살리기 위해, 구동 모터는 Direct Drive Motor를 채용하여 회전축을 비접촉으로 구동할 수 있다.
- **개요사항** : 1. 회전수 : 최고 회전수 50회전/분  
2. Index정도 :  $\pm 4$  Sec  
3. Table:  $\phi 160\text{mm}$ 의 환형 영구 자석 Micro Pitch Chuck을 채용

### ④ 초정밀 Rotary Table(그림 9)

- 초정밀로 회전시키는 것을 최우선으로 제작한 Rotary Table이다. 2축 제어와 조합하는 것으로, 「비구면 렌즈 금형 가공」, Bite선회 장치와 조합, 「Fresnel Lens 금형 가공」이 가능해졌다.
- 회전축에는 Air Bearing을 채용해 회전 정밀도를 올리고 있다. 또, 이 Rotary Table의 특징인 회전 구동은, Air에 의한 분사력으로 움직이도록 되어 있다(특히 출원 중). 이 방식은 Motor, Gear, Belt 등을 사용하지 않기 때문에, 진동원, 열원이 전혀 없고 Air Bearing의 정도를 그대로 재현할 수 있다.

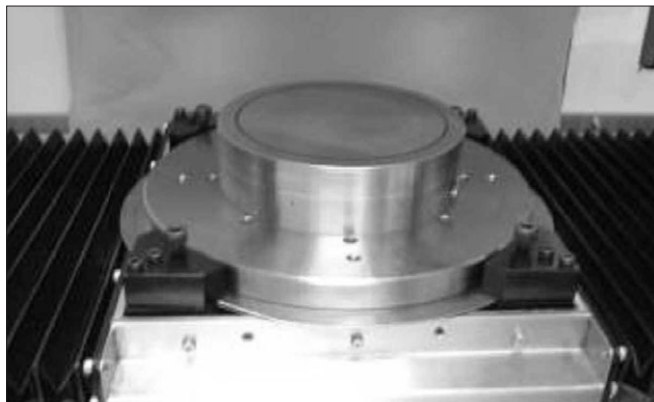


그림 8. Index Table, Rotary Table

- 그림 10은 가공 예이지만, 알루미늄( $\phi 50\text{mm}$ , Diamond Bite 선단 R0.02)의 평면 가공에서 중심부에 배꼽이 없는 가공이 되어 있다(Bite선단과 회전 중심을 맞추는 방법은 특허 출원 중).
- **개요사항** : 1. 회전수 : 200~2000회전/분  
2. Table:  $\phi 100\text{mm}$ 의 환형 영구 자석 Micro Pitch Chuck을 채용

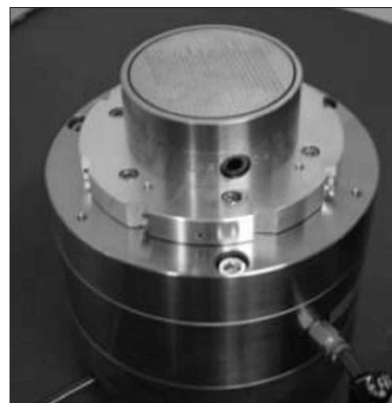


그림 9. 초정밀 Rotary Table

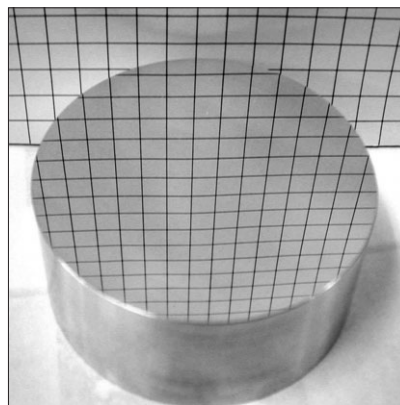


그림 10. Rotary Table을 사용한 가공 Work

### 3. 기계 본체의 사양 (LCD315Li)

#### ① 용량

Table 작업 면적 (좌우×전후)	300mm×150mm
Table 이동량 (좌우×전후)	300mm×180mm
Table 상면에서 Bite 선단까지	~260mm
Chuck 치수	175×105×40mm
공작물 허용 질량 (Chuck 미포함)	10Kg

#### ② Table 좌우축 (X축)

구동 방식	Linear motor
이송 속도	0~3000mm/min
최소 설정 단위	0.00001mm
Feedback	Closed Loop

#### ③ 전후축 (Z축)

구동 방식	Ball Screw&AC Servo motor
전후 이송 속도 (급속 이송)	1000mm/min
이송 속도 (F Code)	1~1000mm/min
최소 설정 단위	0.00001mm
Feedback	Closed Loop

#### ④ 상하축 (Y축)

구동 방식	Ball Screw&AC Servo motor
상하 이송 속도 (급속 이송)	1000mm/min
이송 속도 (F Code)	1~1000mm/min
최소 설정 단위	0.00001mm
Feedback	Closed Loop

#### ⑤ 제어장치

NC제어장치명	FANUC30i-A
---------	------------

### 4. 가공 예

#### Front Light용 도광판 금형

- WORK 형상 : 110×80×30mm (5인치)
- Pattern 형상 : Slot 각도 134도 36분, Pitch 150 $\mu$ m, Slot 깊이 6 $\mu$ m (그림 11 참조)
- 재질 : 무 전해 니켈 도금
- 공구 : 단 결정 다이아몬드 134도 36분
- 절삭방식 : Planner 가공 방식
- 윤활방식 : Oil Mist 윤활
- 가공시간 : 2시간 30분
- 가공밀도 : 그림 12의 「5인치 Front Light 도광판 금형 측정 결과」를 참조
- 해설 : 그림 12의 측정 결과보다, 110mm×80mm의 크기로

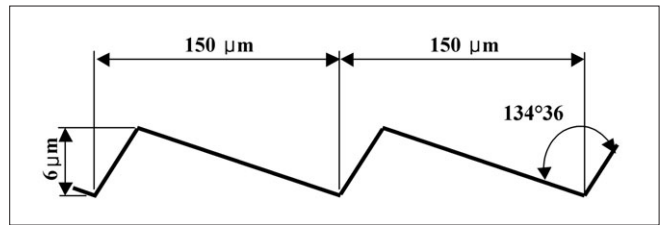


그림 11. Front Light용 도광판 금형의 형상

- 측정기 : Surfcom 3000A-DX (東京精密)
- 측침 : 2 $\mu$ mR 60° 원추 Diamond (DT45807)
- 측정위치 : 右図参照
- 측정길이 : 5mm
- 측정 Pitch : 0.1 $\mu$ m
- 측정속도 : 0.1mm/s
- 측정압력 : 0.7mN
- 측정실온도 : 20 $\pm$ 0.5 $^{\circ}$ C 항온실
- 측정항목 : 측정 길이 5mm내의 V 홈 31개소의 깊이  
Pitch 정도 및 V 홈 5개소의 표면조도
- V 홈 규격 : 깊이6 $\mu$ m, Pitch150 $\mu$ m, 각도134.6 $^{\circ}$

	A位置	B位置	C位置	D位置	E位置	
깊이 $\mu$ m	最大値	6.041	6.055	6.030	6.017	6.052
	最小値	5.952	5.946	5.959	5.957	5.949
	편차	0.089	0.109	0.071	0.060	0.103
	平均	5.992	5.989	5.995	5.991	5.997
Pitch $\mu$ m	最大値	150.097	150.079	150.110	150.133	150.060
	最小値	149.915	149.892	149.894	149.941	149.903
	편차	0.182	0.187	0.216	0.192	0.157
	平均	150.005	149.987	150.003	150.008	149.995
조도 Rnm	最大値	7.436	7.536	7.149	7.970	7.061
	最小値	6.107	6.545	6.086	6.899	6.503
	편차	1.329	0.991	1.063	1.071	0.558
	平均	7.206	7.167	6.637	7.303	6.691

그림 12. 5Inch Front Light 도광판 금형 측정 결과

깊이의 편차가 0.1 $\mu$ m, 피치의 편차가 0.2 $\mu$ m, 표면 거칠기 7nmRa를 얻을 수 있었다.

이와 같은 고정도를 얻으려면, 기계가 가지고 있는 움직임의 정도도 중요하지만 가공의 조건의 선정도 큰 Factor이다.

결론적으로, 도광판 가공은, 최근 수년간 큰 변화를 이루어 왔다. 형상이 복잡하게 되었다고 말하는 것부터 그 Slot의 표면 불균일, Burr는 허용되지 않는다. 빛의 난반사를 일으키고 액정 표시판의 휘도 저하  $\Rightarrow$  소비 전력 UP으로 연결되기 때문이다. 또 대형화의 요구도 있으므로, 기회가 되면 대형화에의 대응에 대해 소개하고 싶다.