

원추형상을 이용한 비구면 형상가공에 관한 연구

이상민*(한국산업기술대학교 기계공학과), 박철우†, 이종항‡(한국산업기술대학교)

A Study on Machining of Aspherical Surface using a Cone.

Sang-Min Lee* (Mech. Eng. Dept., KPU), Cheol-Woo Park† (KPU), Jong-Hang Lee‡ (KPU)

ABSTRACT

An aspherical lens in information technology has been increased in order to enhance the optical performances. There are two kinds of approaches to machine the aspherical lens according to workpiece materials: Those are plastics and glasses. The direct machining technique of aspherical surface is generally conducted by the diamond turning machine, precision grinding machine, and polishing machine. This technique, however, has a problem which needs an expensive and high precision machine in order to increase the surface roughness and the machining accuracy. In this paper, a machine, which is able to machine the aspherical surface, was developed to decrease the cost. Also, the machining of the aspherical surface using a cone was carried out experimentally in order to compare the experiment with the simulation. The results showed that the machining experiments of the aspherical surface by using the tilted cone were in accordance with the simulation.

Key Words : Locus shaping method(LSM), Diamond turning machine(DTM, 다이아몬드선삭가공기), Aspherical surface(비구면), Precision machining(정밀가공), Cone(원추)

기호설명

- k = a cone constant
- θ = a cone tilt angle
- α = a cone angle
- r = radius of cone form
- y = simulation value of y
- x = simulation value of x
- a = hemiellipsoid revolution about major axis
- b = hemiellipsoid revolution about minor axis
- β = swing angle
- m = gradient of the tangent line

1. 서론

구면렌즈와 달리 비구면 렌즈는 많은 이점을 갖

고 있기 때문에 디지털카메라 등의 제품에 널리 적용되고 있다. 디지털카메라의 경우, 구면렌즈 3개를 사용하던 것이 비구면 렌즈 1개로 대체가 가능하게 될 뿐만 아니라, 넓은 시야⁽¹⁾, 고성능, 양질의 이미지, 소형, 경량화 등의 장점도 얻을 수 있다.

이러한 비구면 렌즈의 제조는 유리소재일 경우 일반적으로 절삭가공을 적용한다. 이 때의 가공공정은 DTM이나 전용연삭기로 1차가공을 하고, 이때 생기는 톨마크를 제거하기 위해 2차공정인 연마작업을 수행한다. 1차공정인 DTM에서는 형상정도는 대단히 우수하나 펄스제어에 의한 이송으로 가공면은 미세한 단차가공이 된다. 이것은 결국 렌즈의 성능을 좌우하는 수차를 증가시킬 수 있기 때문에 비구면연마기를 이용하여 제거시킬 필요가 있다. 따라서 이 가공공정은 고가의 장비와 복잡한 공정이 되어 제품생산단가가 증가하게 된다.

본 연구에서는 복잡한 비구면 렌즈 제조공정을 간단화시키고, 장비가격을 낮출 수 있는 비구면 전용 가공기를 개발하고, 유리소재에 대한 가공특성을 실험적으로 파악하고자 한다.

* 이상민, 한국산업기술대학교 에너지대학원
(lsmin99@korea.com)

경기도 시흥시 정왕동 2121

† 박철우, 한국산업기술대학교 기계공학과

‡ 이종항, 한국산업기술대학교 기계공학과

2. 이론

2.1 Locus Shaping Method

비구면렌즈 가공장치에 대한 이론적 근거는 장춘 공업대의 Piao^{(2),(3)}에 의하여 제시되었다. 그는 LSM (Locus Shaping Method)를 이용하여 기존의 DTM에서 비구면연마기까지의 공정을 하나의 장비에서 가공할 수 있는 이론적 토대를 제시하였다.

LSM에 의한 가공장치는 Fig. 1과 같이 임의의 곡률로 가공하기 위하여 렌즈의 곡면이 원추형상의 궤적에 따르도록 고안되어 있다. 이 기계의 핵심적 기구는 2번 축에 붙어 있는 원추형상이다. 원추형상의 기울어진 각도에 따라 비구면(타원, 포물선, 쌍곡선) 형태의 단면 프로파일을 만들어 낼 수 있으며, 이를 연삭휠로 모방가공 함으로써 비구면 형상을 가공할 수 있다. Fig. 2는 LSM 이론을 기구형태로 구현한 것으로서 중간에 단면 접촉날이 원추에 접촉된 것을 볼 수 있다.

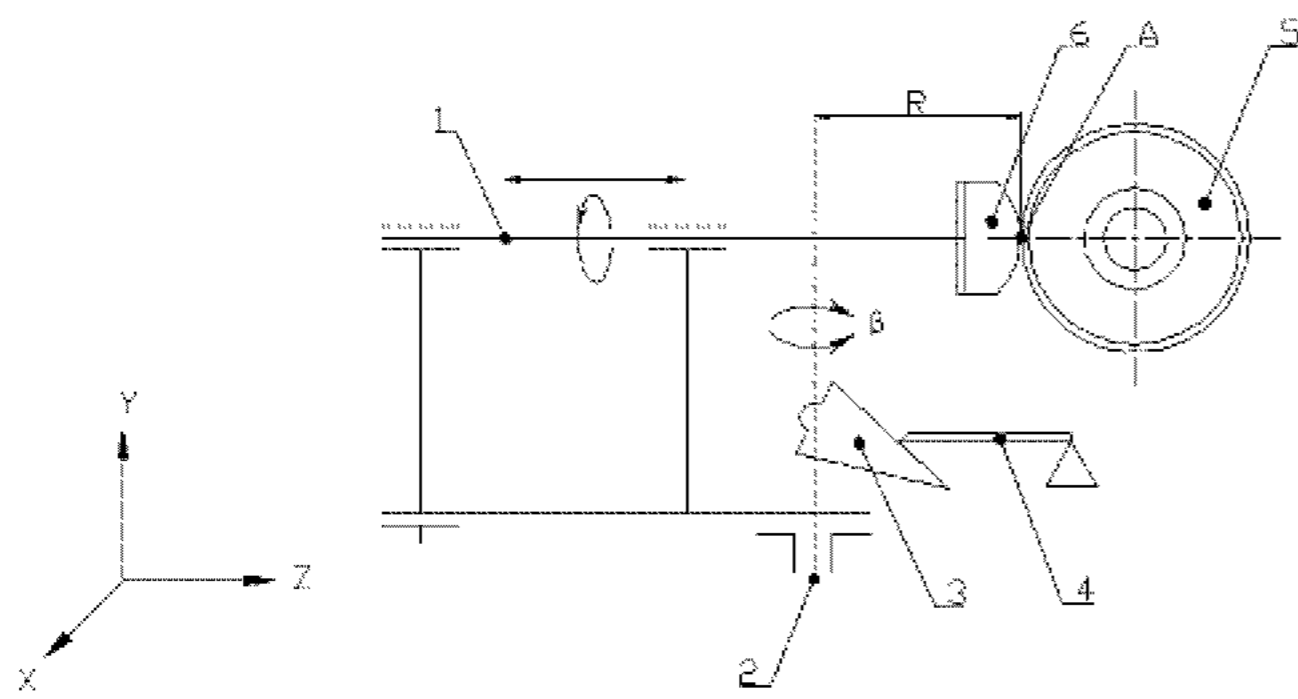


Fig. 1 Layout of locus shaping method

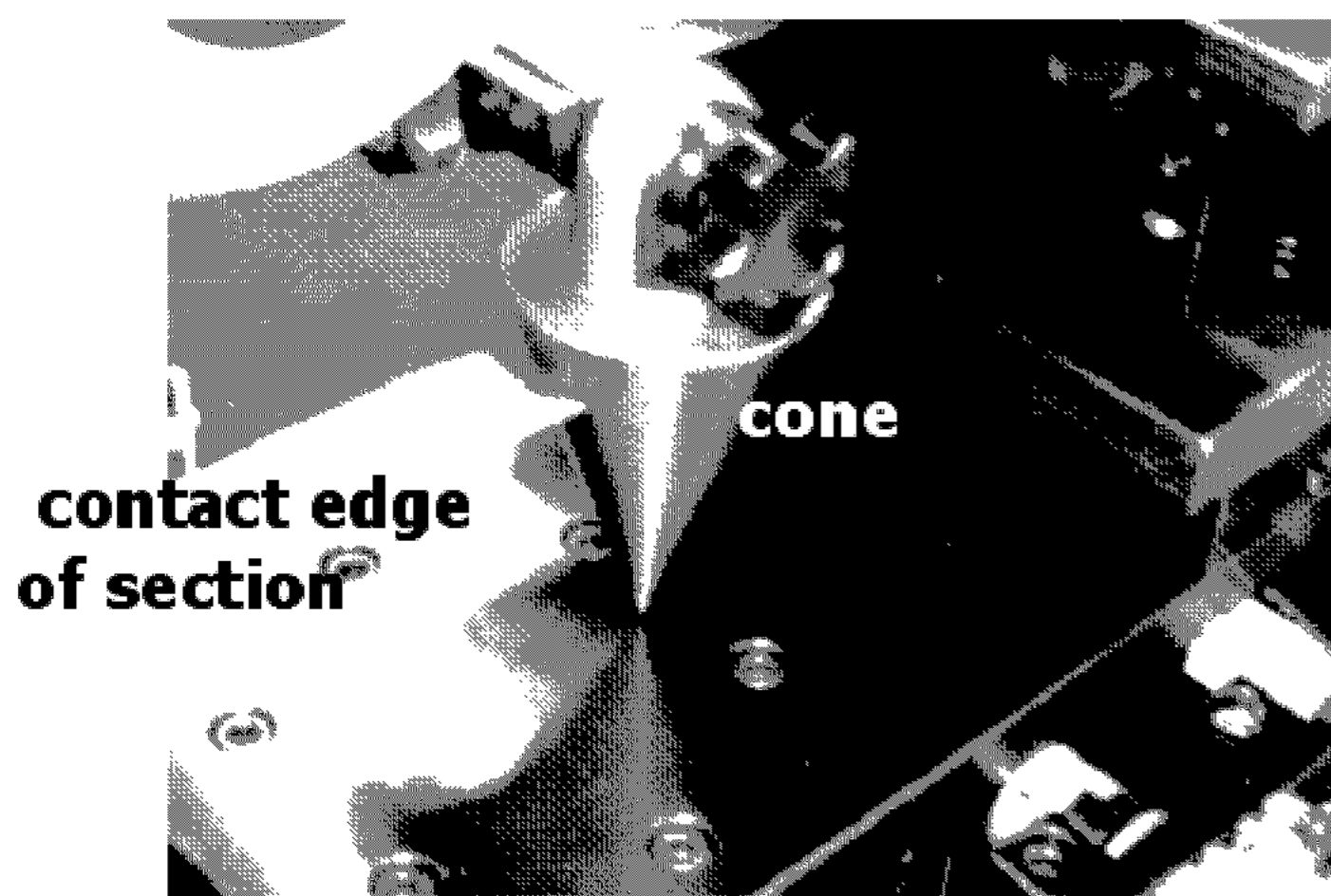


Fig. 2 Photograph of mechanism based on LSM

2.2 원추

Fig. 3은 원추형상의 단면 프로파일을 나타낸 것으로 (i)의 경우에는 $\delta=0$ 이므로 단면프로파일이 원으로 나타나게 된다. 그러나 (ii)는 $\delta \neq 0$ 이 아니므로 기울어지는 각도에 따라 비구면(타원, 쌍곡선, 포물선) 프로파일이 된다. 원추의 밑면과 모선이 이루

는 각을 γ , 원추의 밑면과 단면이 이루는 각을 δ 로 표시하면, $\delta < \gamma$ 이면 타원의 프로파일이 된다.

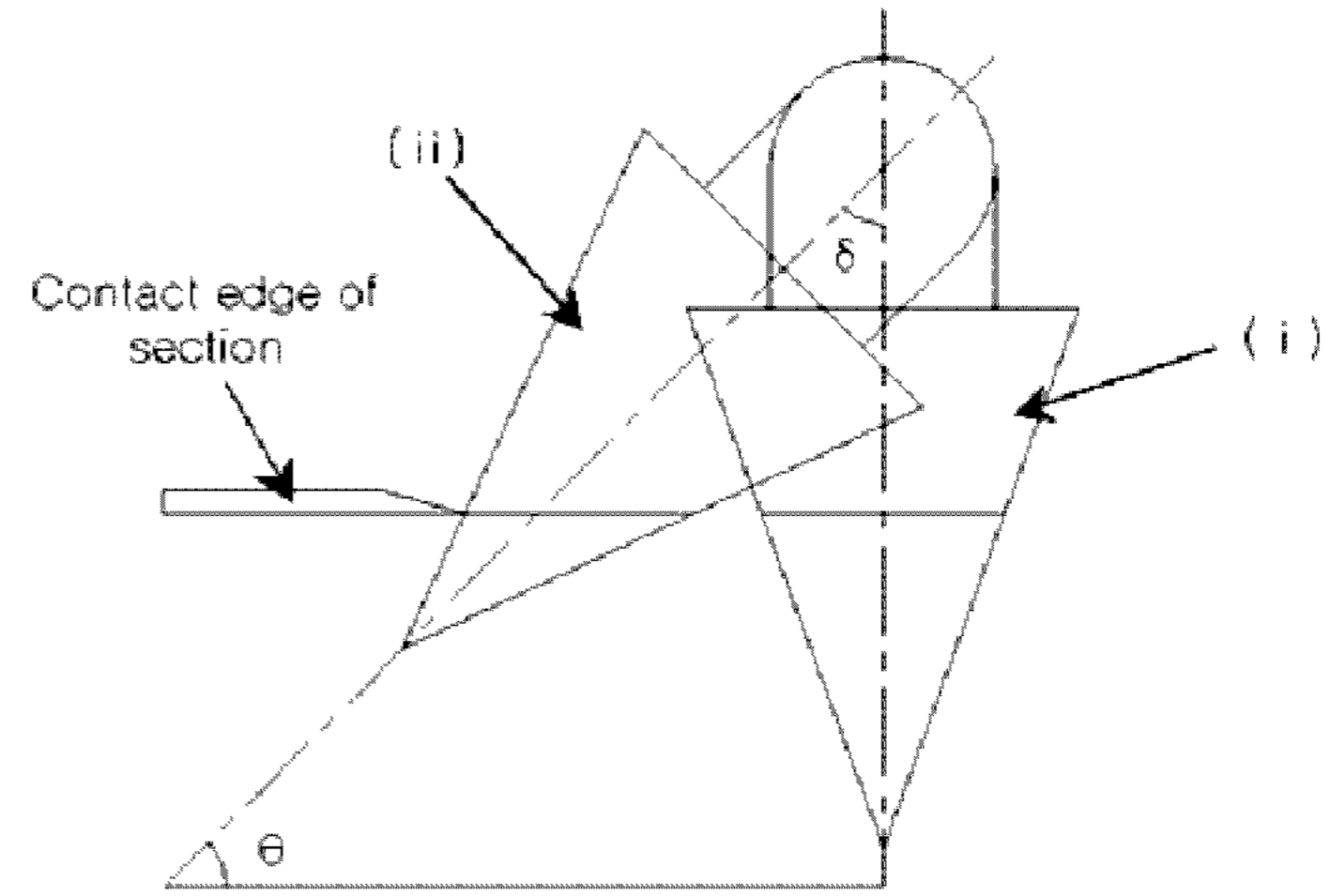


Fig. 3 Principle of making aspherical surface

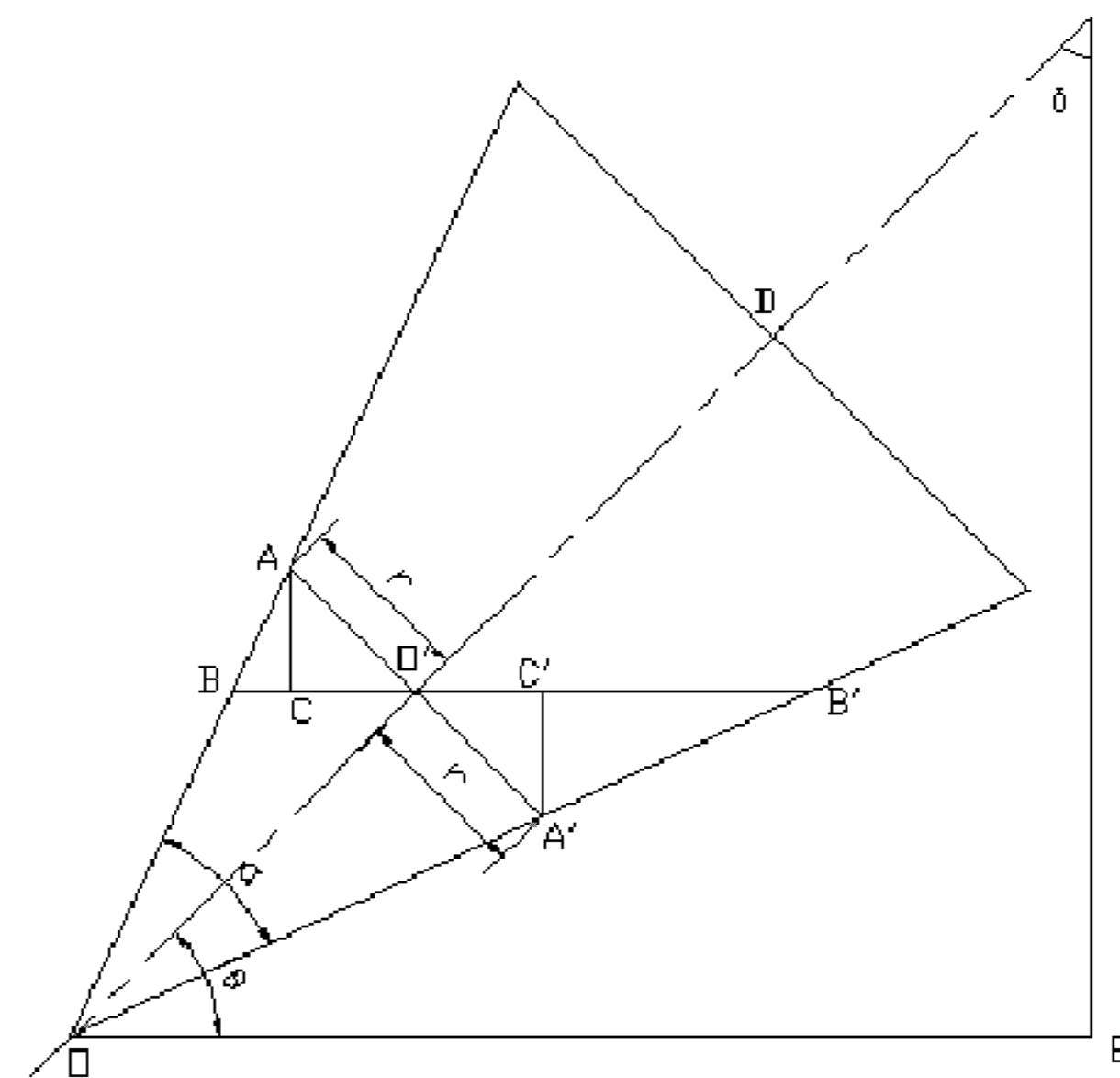


Fig. 4 Section profile of the tilted cone

Fig. 4에서 원추가 δ 만큼 기울어졌을 때 $\overline{BB'}$ 가 타원의 단면프로파일이 된다. r 을 타원의 단축으로, $\frac{\overline{BB'}}{2}$ 를 타원의 장축으로 표시하여 $\overline{BB'}$ 를 계산하면 다음과 같이 된다.

Fig. 4에서 $\angle O'OE = \angle BO'O = \theta$ 라고 하면, $\overline{OO'}$ 와 수직하게 그은 선이 $\overline{AA'}$ 이다. 따라서 이들의 관계로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\overline{CO'} = r \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = r \sin \theta \quad (1)$$

$$\overline{AC} = r \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = r \cos \theta \quad (2)$$

$$\angle ABC = \theta + \frac{\alpha}{2} \quad \text{이므로} \quad \tan\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\overline{AC}}{\overline{BC}}$$

에서 \overline{BC} 에 관해서 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$\overline{BC} = \frac{\overline{AC}}{\tan\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (3)$$

$$\overline{BO'} = \overline{BC} + \overline{CO'} = r \left(\frac{\cos \theta}{\tan\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right)} + \cos \theta \right) \quad (4)$$

상기 식과 같은 방법으로 $\overline{B'O'}$ 에 대해 풀면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\overline{B'O'} = r \left(\frac{\cos \theta}{\tan\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right)} + \cos \theta \right) \quad (5)$$

$\overline{BB'}$ = $\overline{BO'}$ + $\overline{B'O'}$ 이므로 (4)과 (5)을 이용하여 $\overline{BB'}$ 를 구하면 다음 식과 같이 된다.

$$\overline{BB'} = r \left(\frac{\cos \theta}{\tan\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{\cos \theta}{\tan\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right)} + 2 \sin \theta \right) \quad (6)$$

2.3 접촉궤적

2.2절에서 δ 만큼 원추가 기울어 졌을 때 접촉되는 형상이 타원의 형상이 된다. Fig. 5와 같이 타원이 β 만큼 기울어졌을 때 단면 접촉날에 접하게 되는 접촉궤적은 다음식과 같이 된다.

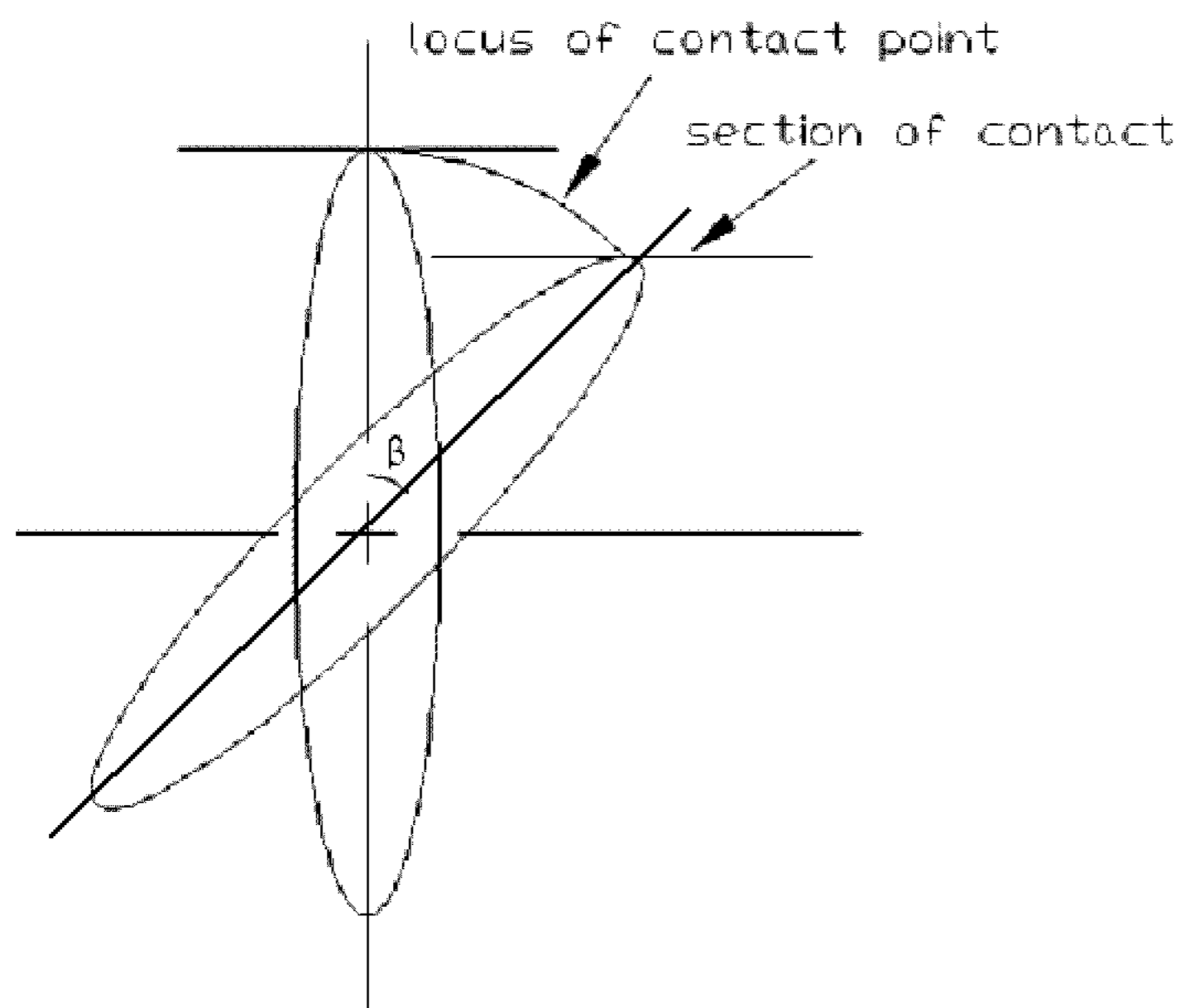


Fig. 5 Locus of contact point

접촉궤적인 타원의 방정식은 다음과 같다.

$$y = \pm b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \quad (7)$$

단면 접촉날의 궤적인 타원과 접하는 접선의 방정식은 기울기가 m 일 때 다음과 같이 된다.

$$y = mx \pm \sqrt{a^2 m^2 + b^2} \quad (8)$$

(7)식에 (8)식을 대입하여 x 에 관해서 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$x = - \frac{a^2 m \sqrt{a^2 m^2 + b^2}}{a^2 m^2 + b^2}, \quad m = \tan \beta \quad (9)$$

(9)식을 (8)식에 대입하여 단면 접촉날의 궤적인 y 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$y = - \frac{a^2 m^2 \sqrt{a^2 m^2 + b^2}}{a^2 m^2 + b^2} \pm \sqrt{a^2 m^2 + b^2} \quad (10)$$

Fig. 5에서 타원이 회전된 각 β 와 (10)식의 a, b 값을 알면 가공하고자 하는 비구면 렌즈의 위치 좌표인 (x, y) 를 계산할 수 있게 된다.

3. 실험조건 및 실험결과

3.1 실험장치 및 조건

본 실험에 이용된 가공기계는 앞 절의 이론이 적용된 3차원 비구면형상가공기(Fig. 6)를 제작하여 이용하였다.

공구는 $\Phi 125\text{mm} \times W10\text{mm}$ 의 Diamond Wheel를 이용하였으며, 연삭액은 Noritake사의 AFG-M을 이용하였고, 냉각수는 쉘 루브리콜 그린 플러스를 사용하였다. 또한, 공작물은 $\Phi 19 \text{ mm}$ 의 유리소재를 이용하였다.

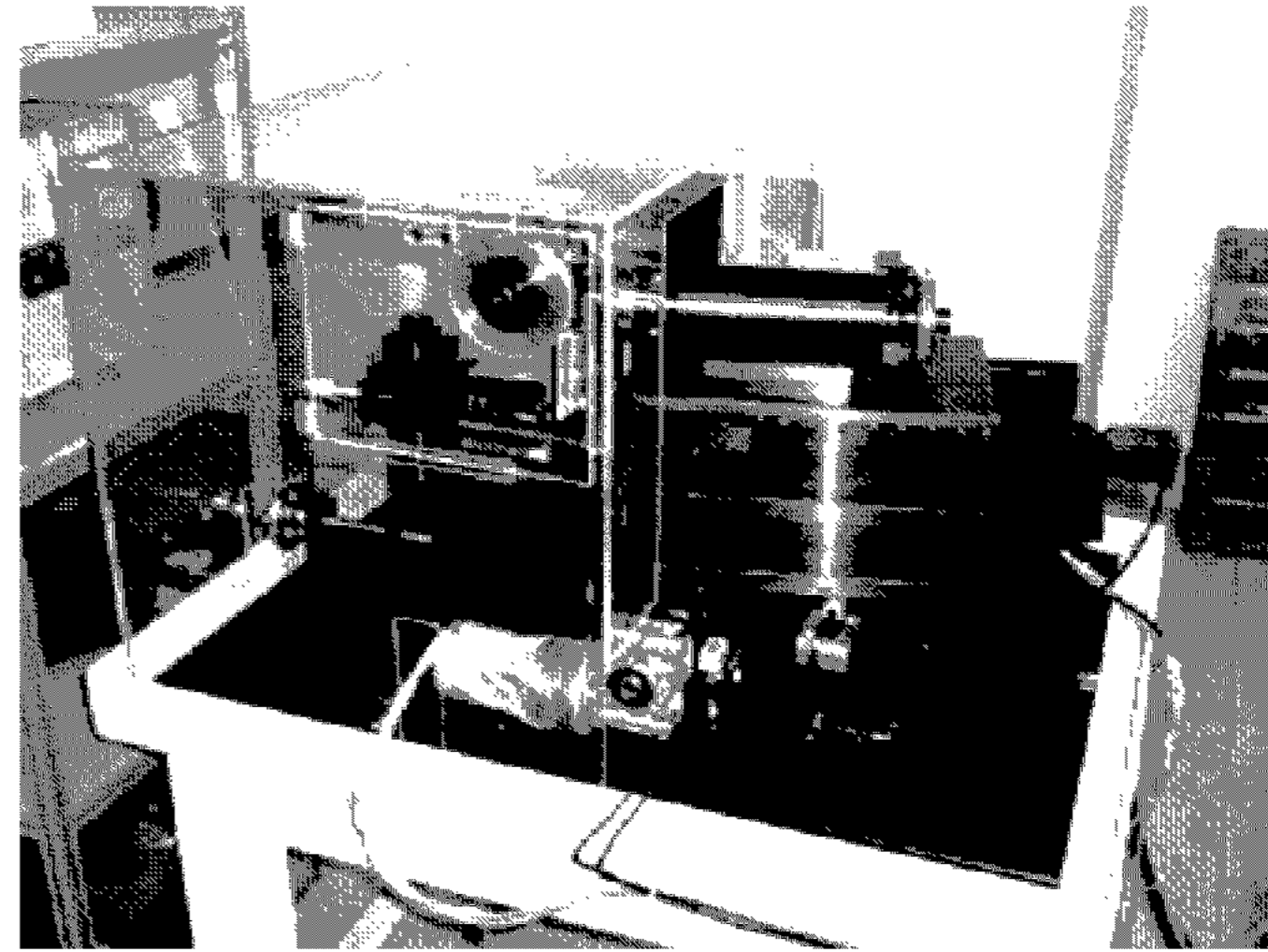


Fig. 6 Aspherical lens grinding machine

Table 1 Experimental condition

| | | |
|------|---------------|--|
| Tool | Diamond Wheel | Mesh : #100, #600, #3000 Bond : Metal Concentration : 100% |
| | Speed & Feed | Spindle V=30m/sec, N=4600rpm Workpiece N=100rpm Swing $\Omega=1^\circ/\text{sec}$ Feed Coarse grinding : 0.05mm/pass Precision grinding : 20 $\mu\text{m}/\text{pass}$ Super grinding : 1 $\mu\text{m}/\text{pass}$ |

Fig. 8은 l 값의 변화에 따른 비구면 가공실험으로서, l 의 값이 커질수록 곡률반경이 커지는 것을 볼 수 있다.

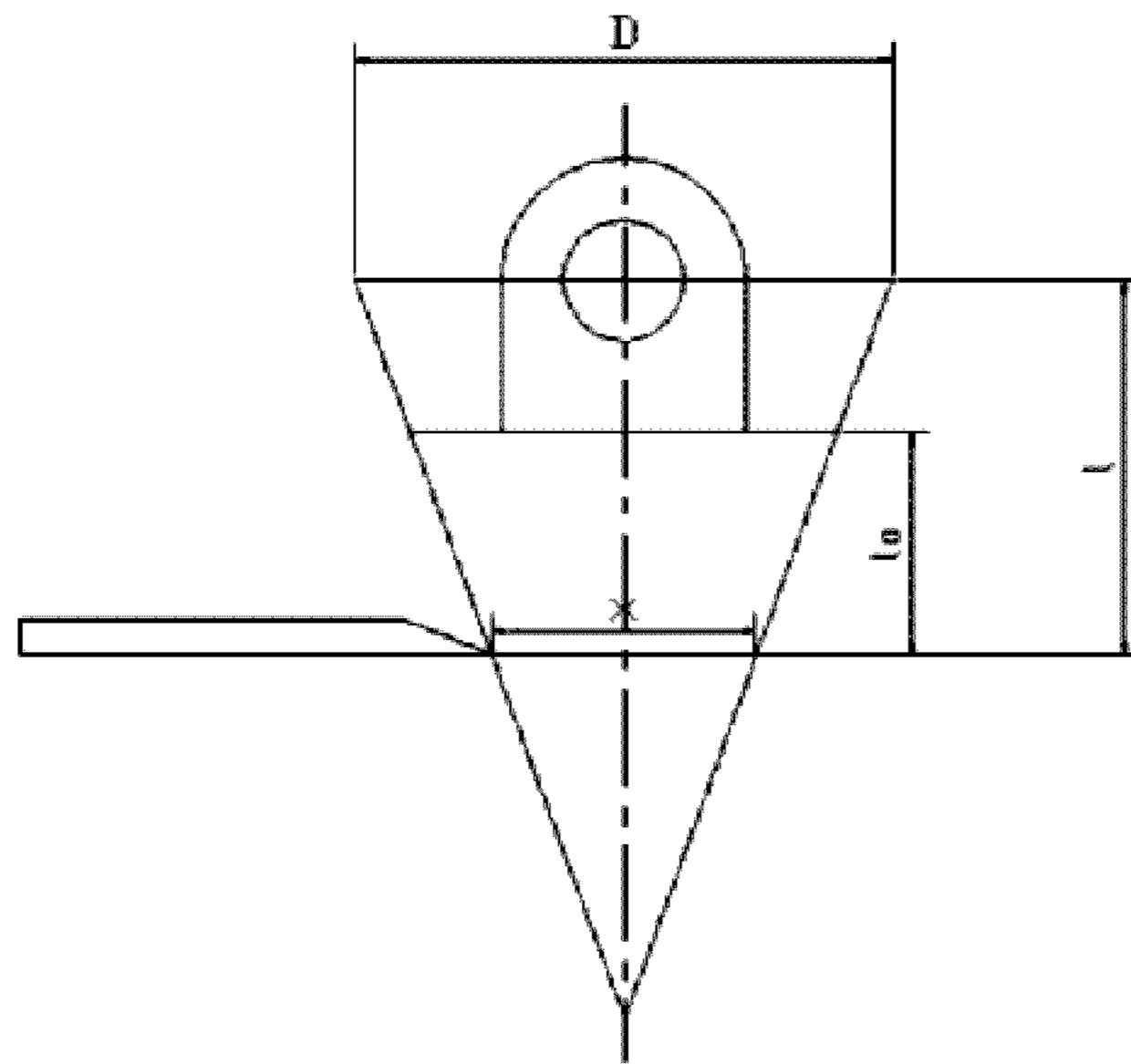


Fig. 7 Configuration of contact position between a contact edge and a cone surface

가공조건은 Table 1과 같은 조건에서 황삭, 중삭, 정삭 3개의 공정을 순차적으로 적용하였으며, 다이아몬드 휠의 입도와 절입량에 따른 가공실험을 수행하였다.

실험은 Fig. 7과 같이 접촉날의 위치에 따라 가공된 유리소재의 곡률반경을 측정하였다. $l=62.75\text{mm}$ 과 $l=59.62\text{mm}$ 의 단면 접촉날의 위치에 따른 실험과, 원추의 회전각도 $\delta=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ 에 대한 렌즈가공실험도 수행하였다.

3.2 실험결과

시뮬레이션 결과와 가공실험을 통해서 얻은 결과를 비교한 것이 Fig. 8, 9, 10이다. 시뮬레이션 결과와 가공실험 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

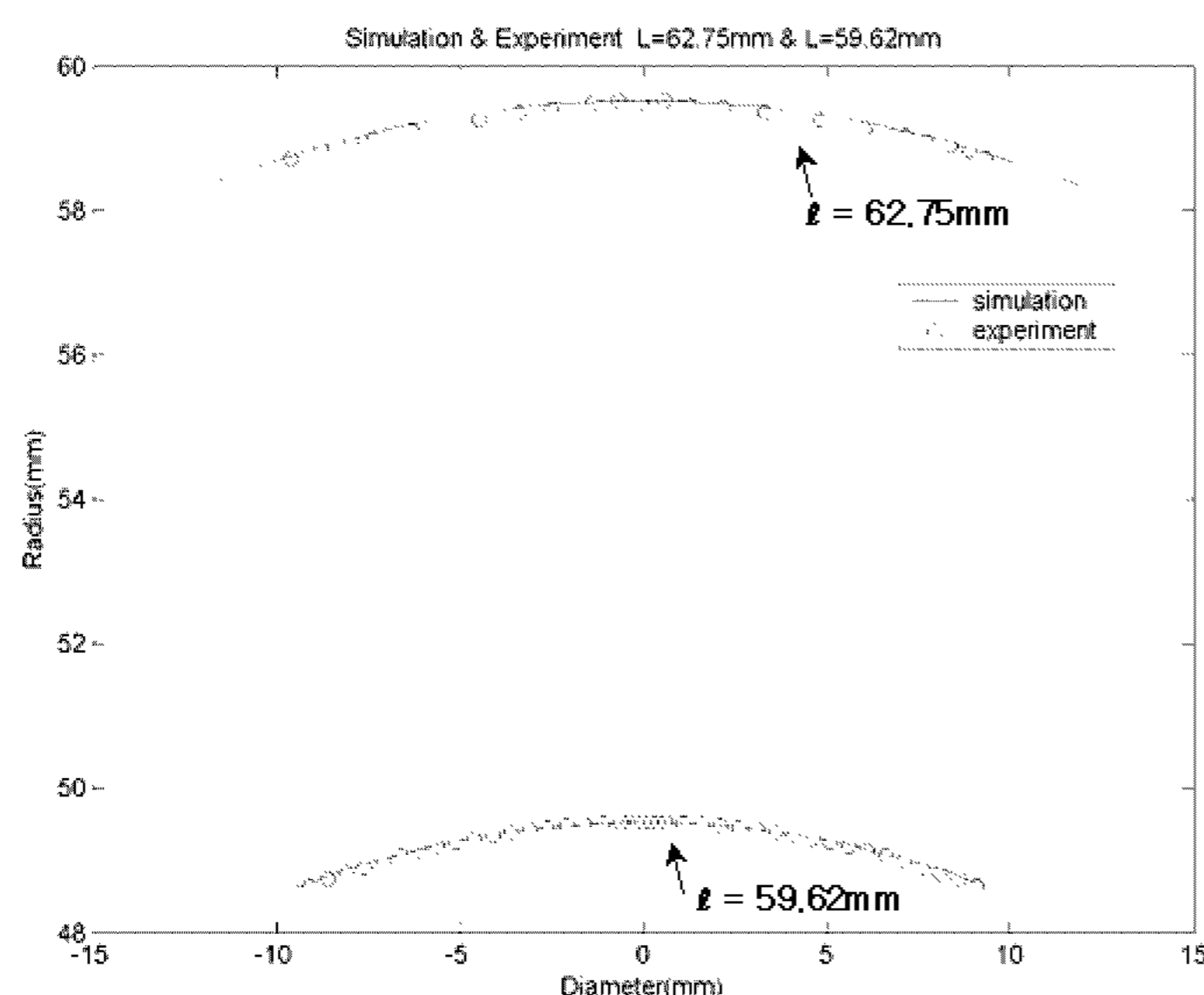


Fig. 8 Results of simulation and experiment at $\delta=20^\circ$ and $l=62.75\text{mm}, l=59.62\text{mm}$

따라서 LSM 이론을 적용하여 제작된 기계의 기구가 비구면 렌즈가공이 가능함을 보여준다.

Fig. 8은 l 값의 변화에 따른 비구면 가공실험으로서, l 의 값이 커질수록 곡률반경이 커지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 δ 값의 변화에 따른 실험으로서 δ 값이 커질수록 역시 곡률반경이 커지는 것을 볼 수 있다.

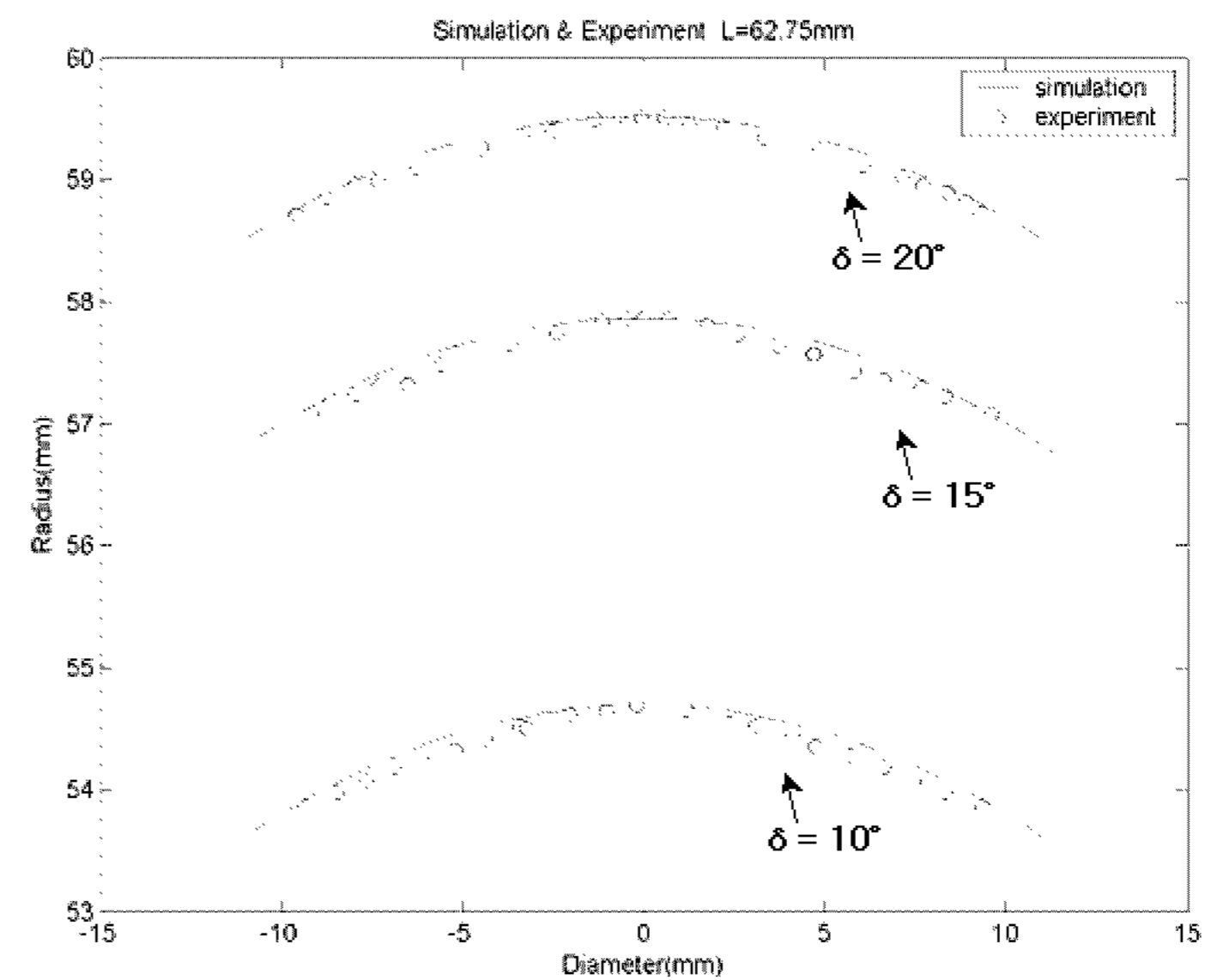


Fig. 9 Results of simulation and experiment at $l=62.75\text{mm}$

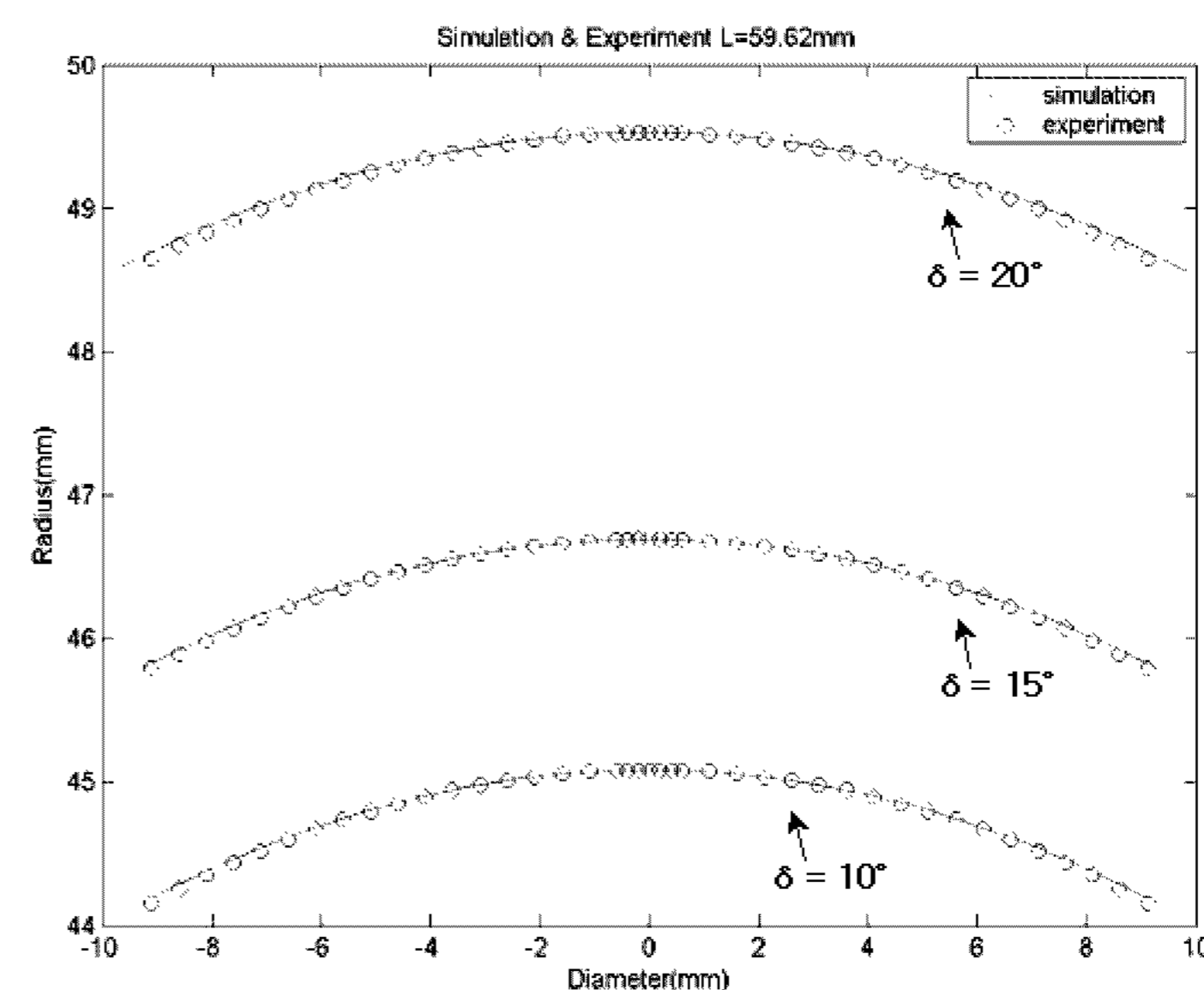
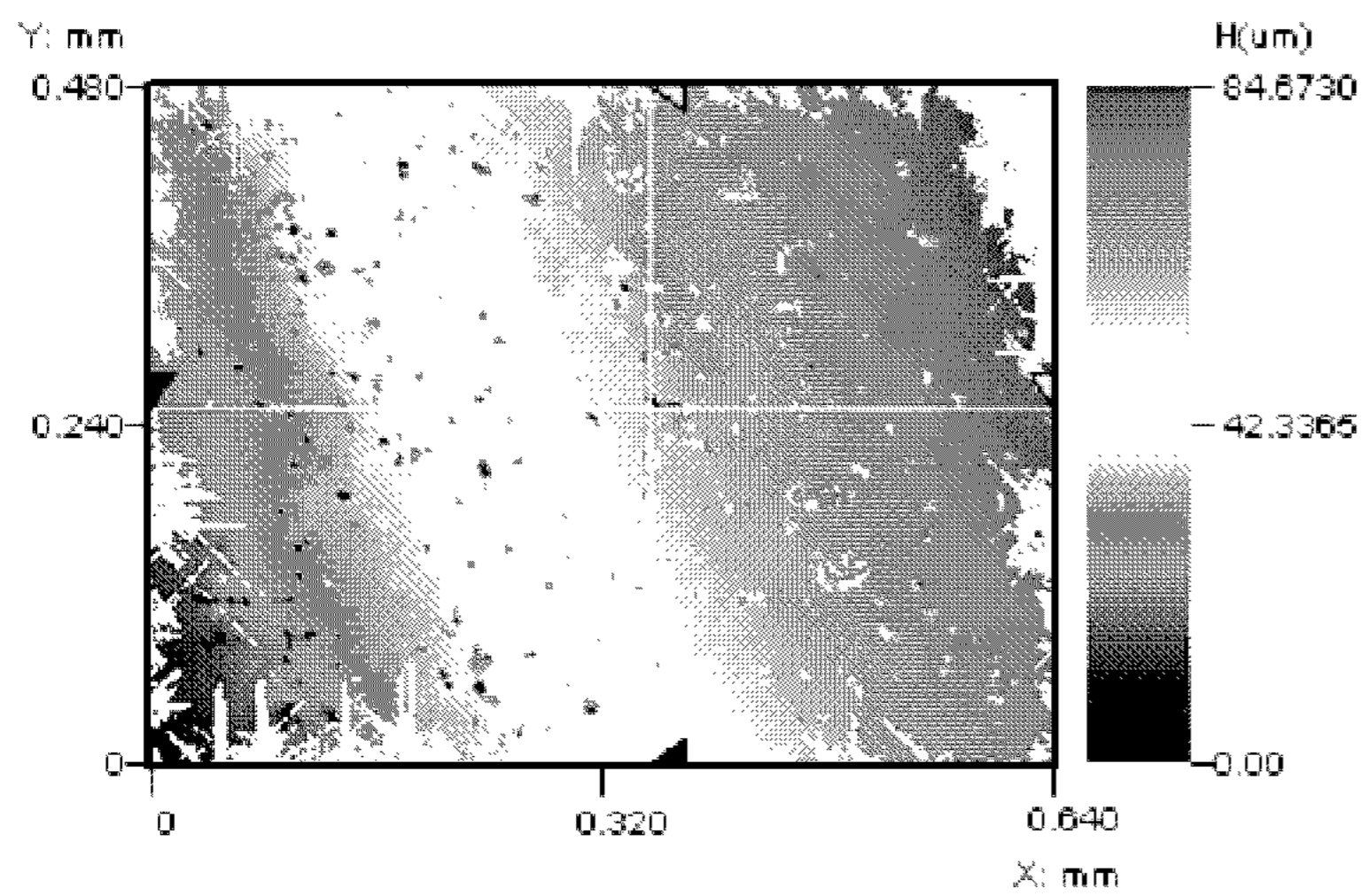
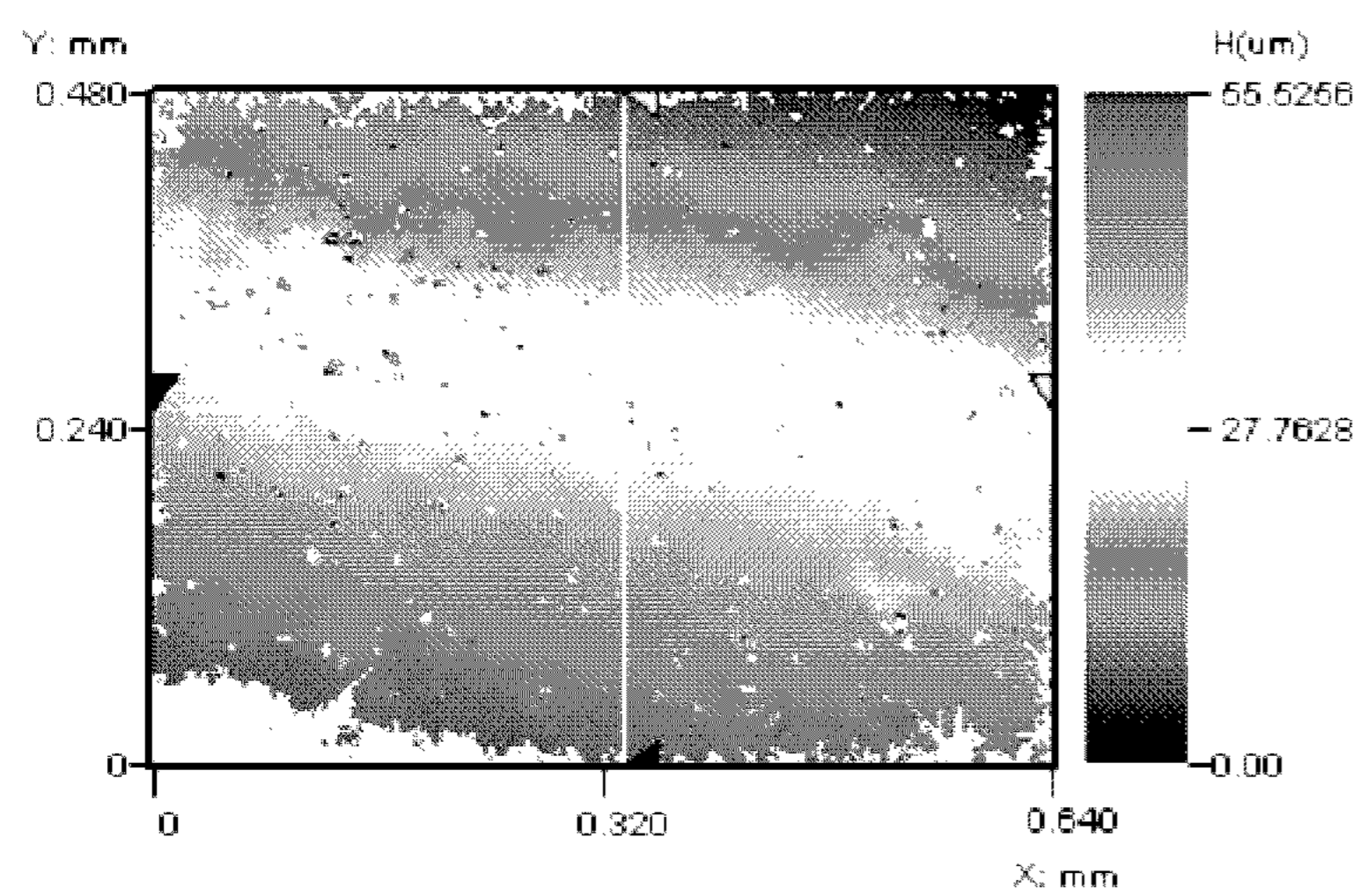


Fig. 10 Results of simulation and experiment at $l=59.62\text{mm}$

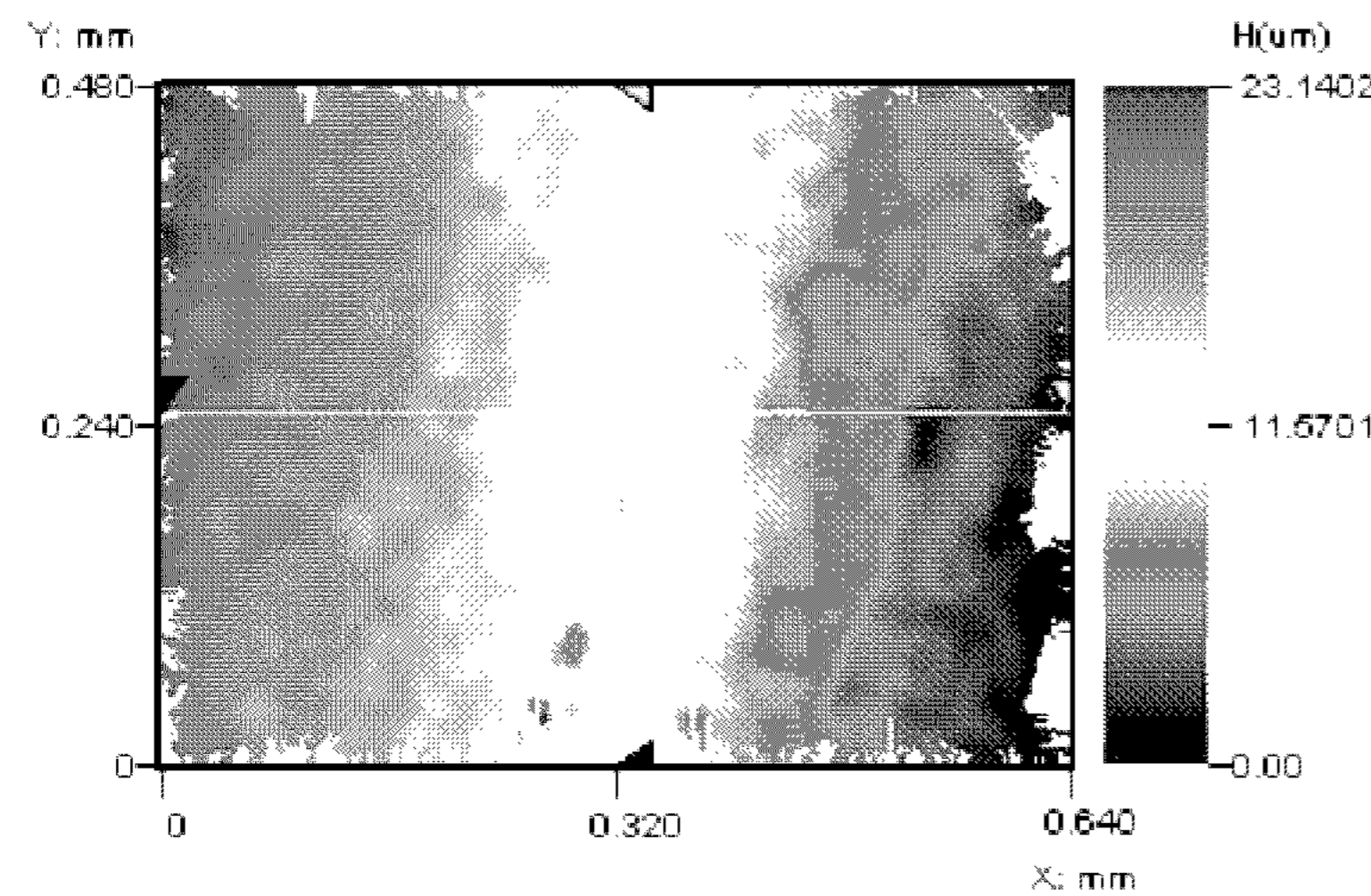
Fig. 11, 12, 13은 표면거칠기를 측정된 데이터로서 비접촉 표면형상측정기를 이용하여 측정하였다. 황삭일 경우, Ra값이 $2.32\mu\text{m}$ 이었으며, 중삭의 경우는 $1.18\mu\text{m}$, 정삭의 경우에는 $0.63\mu\text{m}$ 이었다. 렌즈의 표면거칠기는 가공공구인 다이아몬드휠의 입도에 따라 입도가 높을수록 표면거칠기 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 14는 실제로 가공된 유리소재의 비구면 렌즈를 촬영한 사진이다.



Ra: 2.32 μm Rq: 4.88 μm Rt: 130.95 μm
Fig. 11 Surface roughness of coarse grinding



Ra: 1.18 μm Rq: 2.81 μm Rt: 80.21 μm
Fig. 12 Surface roughness of precision grinding



Ra: 0.63 μm Rq: 0.85 μm Rt: 18.95 μm
Fig. 13 Surface roughness of super grinding

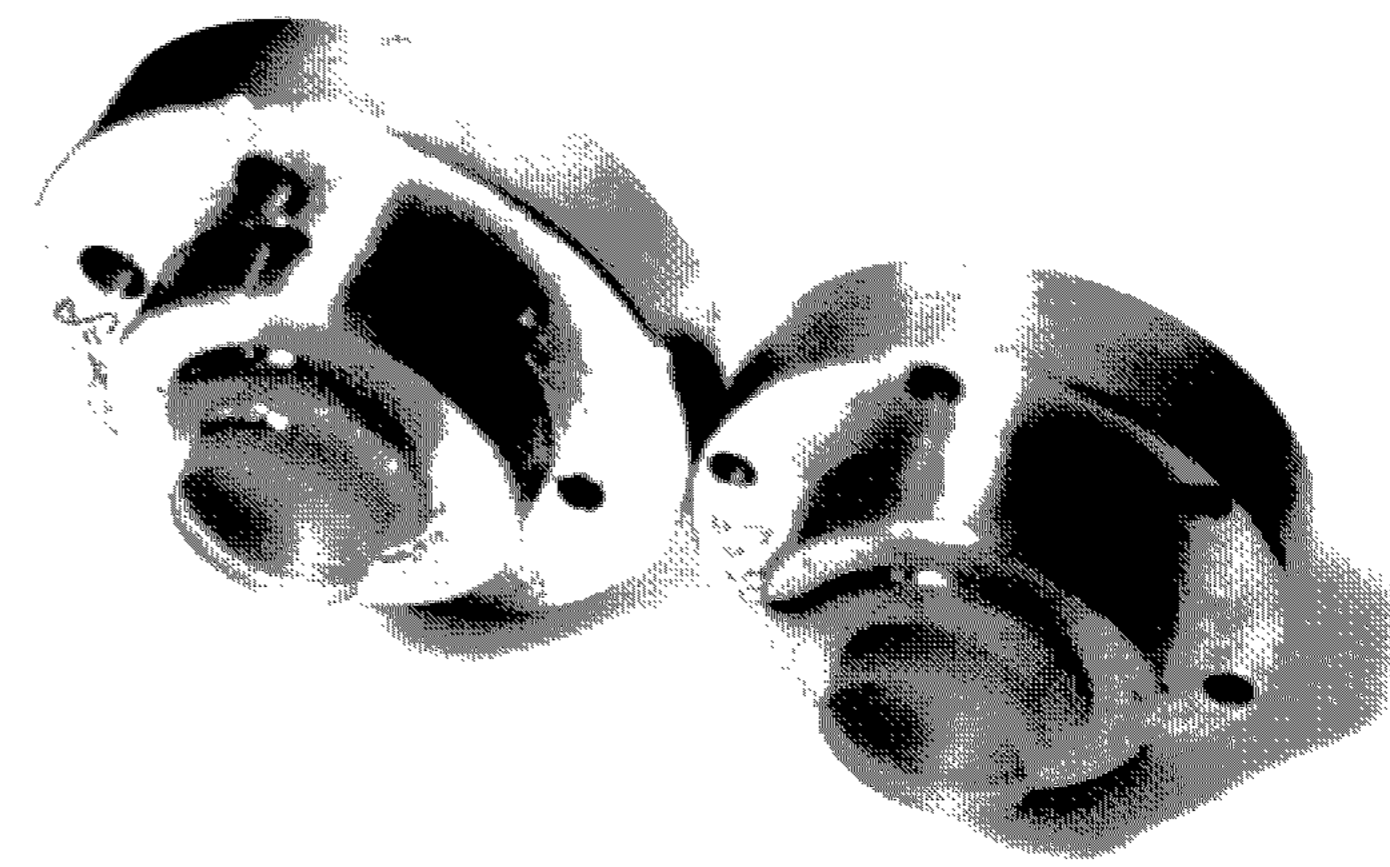


Fig. 14 Photograph of grinded aspherical lens

4. 결론

본 연구에서는 원추형상의 단면을 구면 또는 비구면형상으로 만들 수 있다는 LSM 원리를 이용하여 비구면 형상 가공기를 제작하고, 그 가공특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) LSM 원리는 구면 또는 비구면의 형상가공이 가능함을 보여 주었다.

(2) 가공 후 렌즈의 형상정밀도를 측정한 결과 시뮬레이션 결과와 실험결과가 잘 일치하였다.

(3) l 값과 δ 값이 커질수록 곡률반경이 커지는 것을 알 수 있었다.

(4) 표면거칠기는 630nm까지 성공적으로 수행하였으나 비구면 렌즈에서 필요한 약 5nm의 표면거칠기를 얻기 위해서는 드레싱 장치가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정진호, "비구면 렌즈 설계 및 평가," 2002
2. Piao Chenghao, "Accuracy analysis of precision grinding machine using locus forming method," pp. 498-503, 2000
3. Piao Chenghao, "A study on the New Principle of Machining Spherical Optical Parts by the Locus Shaping Technique," pp. 1-5, 2000