

## Micro lens array 설계

홍 경 희

육군사관학교

(1993년 10월 18일 받음)

팩시밀리나 복사기용으로 이용되는 micro lens array를 설계하였다. array 형태는 육각형배열이고 유효경은 0.160 mm, 가장 가까운 이웃렌즈의 중심간 거리는 0.192 mm로 하였다. 결상계의 횡배율은 1.0이다. single layer는 working distance가 10.55 mm, double layer는 working distance가 7.90 mm가 되었다. 각각의 성능은 ray fan을 계산하여 그 특성을 조사하였으며 서로 비교하였다.

### I. 서 론

Micro lens는 레이저 인쇄기, 복사기, 팩시밀 등 주로 사무용기기에 많이 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 렌즈의 배열방법에도 1차원으로 선배열인 경우와 2차원으로 평면배열인 경우가 있다. 선배열인 경우에 2줄로 하여 주사하며 이때의 결과적인 형태로는 직사각형, 마름모 또는 정육각형 등 여러가지가 있다.<sup>[1]</sup> 본 연구에서는 국내 S.C.사에서 개발하고 있는 정육각형의 형태로 2줄로 선배열되어 주사하는 micro lens array 계통의 설계방법 및 수차특성을 조사하였다. 먼저 single layer 형태와 double layer형태로 나누어서, 광에너지를 가장 이웃하고 있는 렌즈까지 100% 통과시키도록 하며 광선수차 즉 ray fan을 계산하여 그 성능을 평가하며 설계하였다. 축상물체에 대한 ray fan과 축외 물체에 대해서는 최대 물체크기에 대한 tangential ray fan을 계산하여 그림으로 제시하였다. 설계제원으로부터 어느정도의 공차를 허용할 수 있는지 설계변수의 오차가 계통의 수차에 미치는 영향을 조사함으로써, 가공가능성의 여부를 타진하여 보았다. 가공 방법에는 여러가지가 있으며,<sup>[3]</sup> 여기서는 언급하지 않는다.

### II. 계통확립

미세광학소자의 배열은 그림 1과 같으며 공간을 최대한 활용하는 의미에서 선배열을 하되 가장 가까운 이웃렌즈들은 중심의 렌즈를 기준으로 하여 정육각형으로 모여지는 형태를 취하였다. 그리하여 이웃렌즈들을

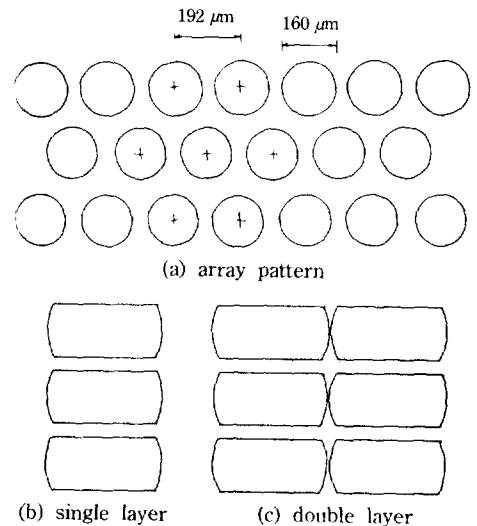


그림 1. Hexagonal type micro array lens system.

동하여도 모든 빛이 100% 통과하여 결상할 수 있도록 시계각을 결정하였다. 미세광학소자의 유효경은 보통 0.05 mm부터 0.30 mm 정도에 이르는 여러가지가 있으나 한국과학기술원에서 연구개발하고 있는 팀과 논의하여 0.16 mm로 정하고 이웃렌즈의 중심과 중심의 거리는 유효경의 1.2배 정도가 조명효과가 가장 좋은 것으로 발표되어 0.192 mm가 되도록 하였다.<sup>[1]</sup> 초차도 가장 많이 알려진 BK-7으로 하였다. 이러한 렌즈의 크기와 초차는 앞에서 언급한 바와 같이 국내에서 개발하고 있는 micro lens array의 제원을 참작한 것이다. single layer는 렌즈 하나만 통과하여 결상하는 것이고 double layer는

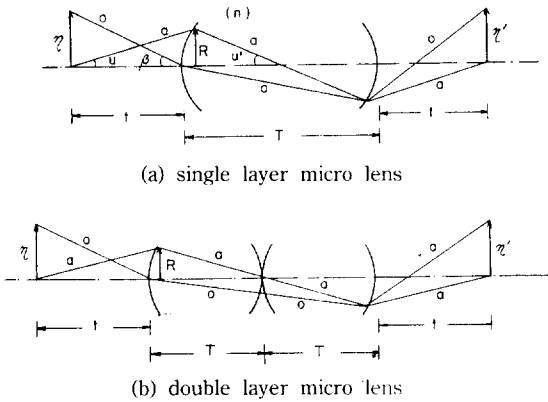


그림 2. Image formation by the micro array lens system.

렌즈 두께가 연속적으로 놓여 있어서 두께를 통과후에 결상되는 것이다. 사용파장은 가시광선의 대표적인 파장으로 Fraunhofer d-line( $\lambda=587.6$  nm, He)을 택하였다. 본 연구에서는 설계기법을 연구하였기 때문에 광원이나 초차는 필요에 따라서 특성에 맞는 것으로 선택하여 설계할 수가 있다. 처음에는 회절한계의 수차특성으로 설계하려 했으나 조명의 문제가 있어 축상에서 30 lps/mm 정도로 하였다. 회절한계로 설계하려면 물체거리가 커야하고 이렇게 되면 광원으로부터 렌즈에 입사하는 광속의 입체각이 적어져서 입사광량이 매우 제한된다. 따라서 본 연구에서는 복사기나 팩시밀에 사용하는 렌즈로 single layer의 경우 축상에서는 30 lps/mm 이상, 비축상에서 10 lps/mm 정도로 설계하였고 double layer의 경우는 축상에서는 35 lps/mm, 비축상에서는 20 lps/mm 이상을 목표로 설계하였다.

1. Single layer

그림 2(a)에서 보는 바와 같이 물체의 크기를  $\eta$ , 물체거리를  $t$ , 렌즈의 유효반경을  $R$ , 두께를  $T$ , 초차의 굴절률을  $n$ 이라 하였을 때 1:1 배율을 갖도록 설계하였다. 또한 공정의 편의성을 고려하여 각면의 곡률반경  $r$ 도 동일한 대칭형을 고려 하였다. 첫번째 면에서 가장자리광선과 주광선에 대하여 Snell법칙을 적용하면

$$n u' = u + kR \tag{1}$$

여기서  $k$ 는 굴절면의 굴절능으로서  $k = c(n-1) = (n-1)/r$ 이다.

단, 여기서  $c$ 는 곡률반경의 역수인 곡률을 의미한다.

$$\text{가장자리광선에서는 } n \frac{2R}{T} = -\frac{R}{t} + kR \tag{2}$$

로서 이를 정리하면

$$T = \frac{2nt}{tk-1} \tag{3}$$

을 얻게 되며 물체거리와 굴절능으로부터 두께를 구할 수가 있다. 또한 주광선에 대하여는

$$n \frac{R}{T} = \frac{\eta}{t} \text{ 로서 이를 정리하면}$$

$$\eta = \frac{ntR}{T} \tag{4}$$

를 얻을 수가 있다. (3)식과 (4)식을 연립하여 풀면

$$k = \frac{2\eta - R}{tR} \tag{5}$$

을 얻어 물체거리,  $t$ 와 물체크기,  $\eta$ 를 알면 굴절능,  $k$ 와 렌즈두께,  $T$ 를 결정할 수가 있다. 식 (4)로부터 물체거리,  $t$ 와 렌즈두께,  $T$ 는 선형적인 관계가 있음을 알 수가 있다. 또 식 (5)를 살펴보면  $(n-1)/r = (2\eta + R)/(tR)$ 으로부터  $tR(n-1) = r(2\eta + R)$ 의 관계가 있으므로

$$r = \frac{tR(n-1)}{(2\eta + R)} \tag{6}$$

으로 주어진 물체크기에 대하여 물체거리,  $t$ 와 선형적인 관계가 성립한다. 한편, 렌즈두께,  $T$ 와 굴절능  $k$ 를 알면 물체 및 상거리,  $t$ 는

$$t = \frac{T}{Tk - 2n} \tag{7}$$

로서도 표현된다.<sup>[2]</sup>

2. Double layer

앞절에서 같은 원리이지만 그림 2(b)에서 보는바와 같이, 두개의 렌즈를 거쳐 결상하므로 첫번째 면에서 굴절하는 것이 한개인 경우의 절반이 되므로 식 (2)는

$$n \frac{R}{T} = -\frac{R}{t} + kR \tag{8}$$

으로 되며 식(3)은

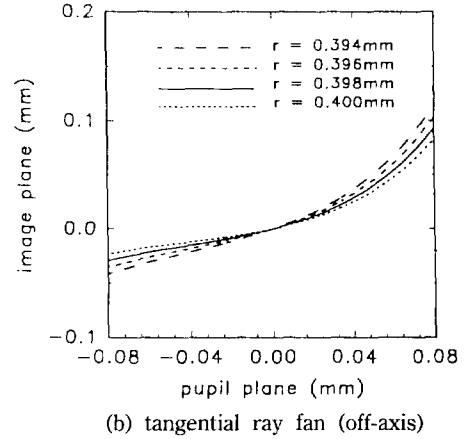
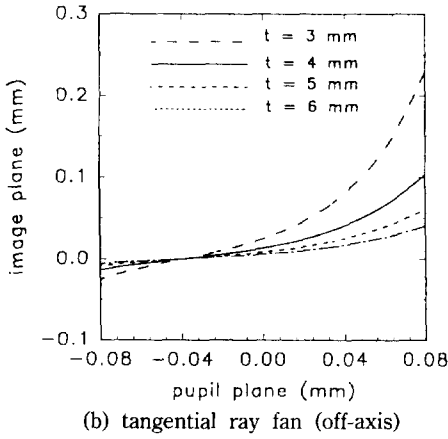
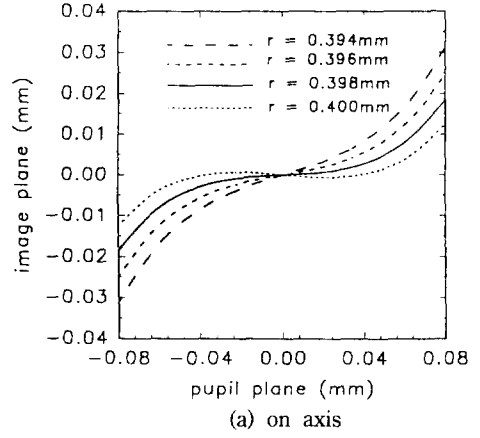
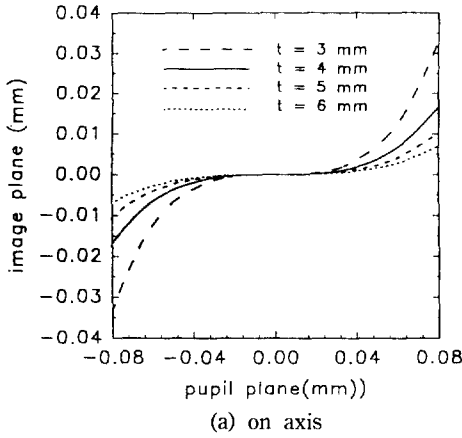


그림 3. Effects of the object distance on the rays fans of single layer micro array lens system.

그림 4. Ray fans of single layer micro array lens system for various radius of curvature

$$T = \frac{nt}{tk - 1} \quad (9)$$

$$t = \frac{T}{Tk - n} \quad (12)$$

로 되고 같은 방법으로 식 (4)도

로서 구하여 진다.<sup>[2]</sup>

$$\eta = \frac{ntR}{2T} \quad (10)$$

### III. Single layer lens array설계

로 되어 식 (9)와 식 (10)을 연립하여 풀면

앞장에서 눈한바와 같이 물체거리를 3 mm부터 6 mm까지 변화시켜 가며 물체크기,  $\eta$ 를 0.192 mm 정하고 이에 따라서 식 (5)와 식 (3)을 이용하여 설계변수인 두께  $T$ 와 굴절능  $k$ 를 구하였다. 물체거리에 따른 설계제원으로 on axis 및 off axis에 대한 ray fan을 계산한 결과가 그림 3(a) 및 (b)와 같다. 광선이 최대한 0.3 mm 반경안에 집중이 된다면 기하광학적인 고찰에 의한 분해능은 그 역수로 볼 수가 있다. 따라서  $t=4.0$  mm 이상되면 축상 물체에 대해서는 적어도 분해능이 30 lps/mm이며, 축외

$$k = \frac{n}{T} + \frac{1}{t} = \frac{2\eta + R}{tR} \quad (11)$$

을 얻을 수가 있다. 또한 single layer에서와 마찬가지로 식 (10)으로부터 한면의 곡률반경,  $r$ 은 식 (6)과 같은 관계를 얻을 수 있고, 물체거리,  $t$ 에 대해 선형적인 관계가 성립된다. 한편 렌즈두께,  $T$ 와 굴절능,  $k$ 를 알면 물체 및 상거리,  $t$ 는

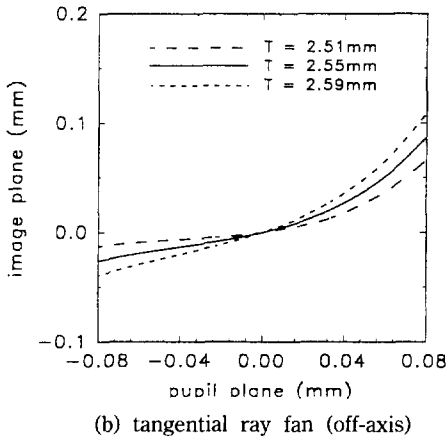
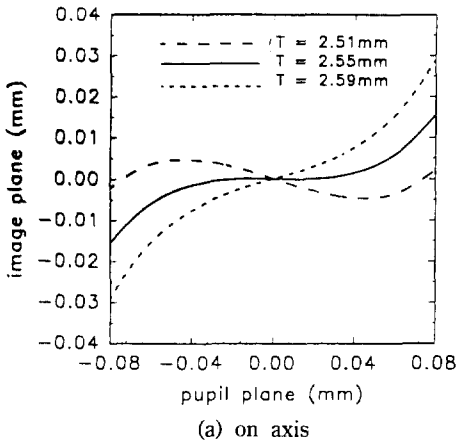


그림 5. Effects of the thickness on the ray fans of single layer micro array lens system.

에 대하여서도 10 lps/mm 정도임을 볼 수 있다. 이 때에 얻은 렌즈 두께와 굴절능은 가공을 고려하지 않았기 때문에 렌즈두께를 0.01 mm 이하를 반올림하고, 식 (6) 으로부터 곡률반경을 계산하여 0.002 단위로 변화시켜 가며 ray fan을 계산하며 결정한 결과  $t=4.0$  mm,  $T=2.55$  mm 그리고  $r=0.398$  mm로 설계를 확정하였다. 그림4는 곡률반경,  $r$ 을 0.394 mm부터 0.400 mm까지 변화 시켜가며 ray fan을 계산한 결과이며 그림에서 보는 바와 같이 성능에는 큰 변화가 없다. 그림5에는 설계제원으로부터 렌즈의 두께가 0.04 mm 차이가 날 때에 ray fan에 미치는 영향을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 분해능에는 그다지 결정적인 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그림 6에는 초점이 앞뒤로 0.04 mm 이동하였을 때에 ray fan에 미치는 영향을 조사한 결과이며, 그림에서 보는 바와 같이 성능에 별 지장이 없음을 알 수가 있다.

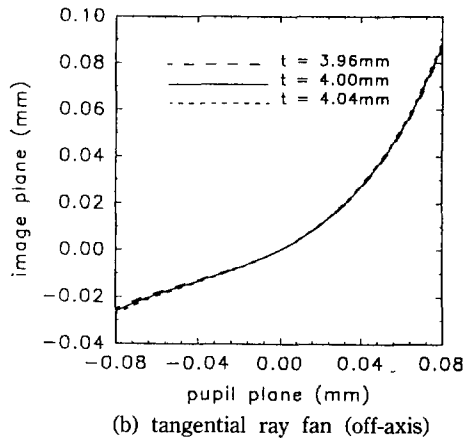
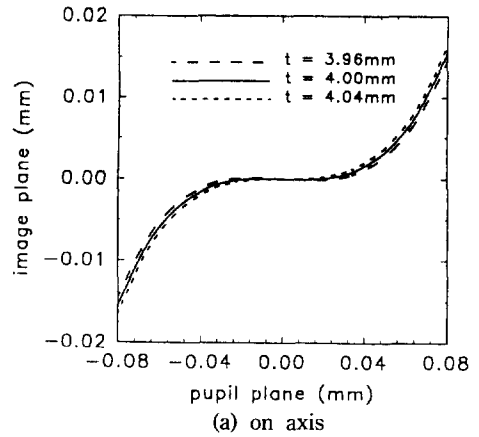


그림 6. Defocussing effects on the rayfan of single layer micro array lens system.

그림 7에는 가공시 구면상태에 차질이 생겨 비구면이 되었을 때를 고려하여 conic constant가 -1.50부터 0.125 까지 변화할 때에 ray fan에 미치는 영향을 조사결과, 그 성능에 별 차질이 없음을 보여주고 있다. ray fan으로 보아서 conic constant가 -0.5일 때가 가장 성능이 좋아짐을 볼 수가 있다. 위에서 설계변수의 변화범위내에서 ray fan에 미치는 영향이 크지않다는 것은 한 가지 변수만의 공차로서 고려할 수도 있겠으나 실제 제작시에는 여러가지 변수가 불규칙하고 복합적으로 나타나기 때문에 공차는 단순하게 단정할 수가 없다. 그러나 각 변수만의 공차범위의 절반정도로 생각한다면 하더라도 본 설계는 국내기술로 가공가능하다고 판단된다.

#### IV. Double layer lens array 설계

앞의 II에서 논한 방법으로 물체거리를 2.0 mm부터

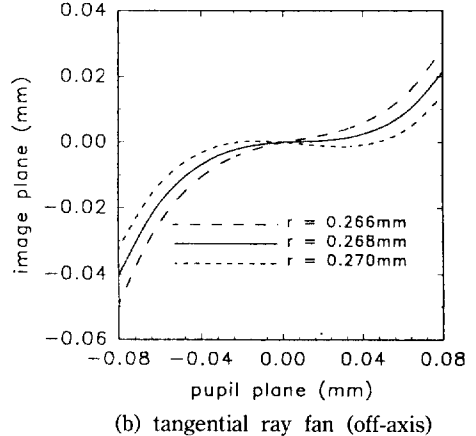
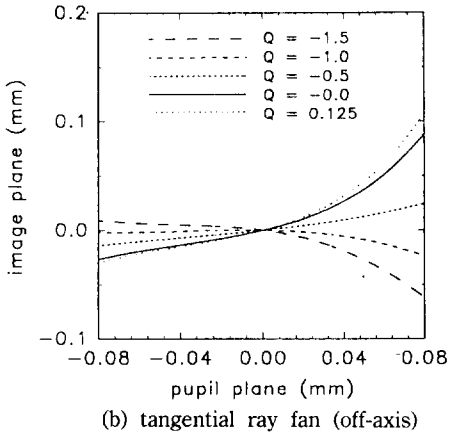
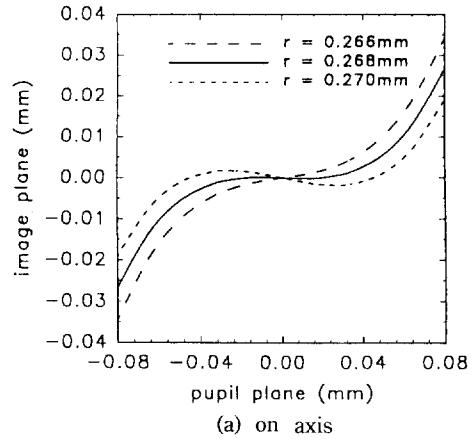
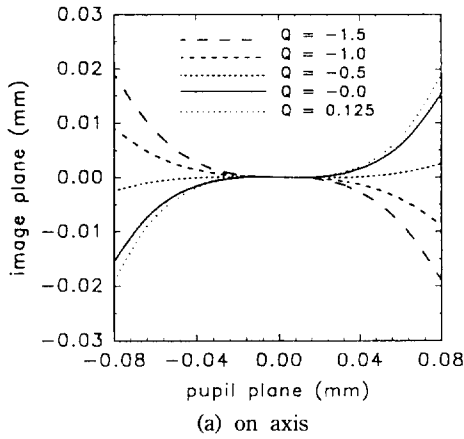


그림 7. Aspheric effects on the rayfan of single layer micro array.

그림 8. Ray-fans of double layer micro array lens system for various radius of curvature.

5.0 mm까지 변화시켜가며 식 (9)와 식 (10)을 이용하여 렌즈두께와 곡률반경을 계산하여 물체거리를 3.0 mm, 렌즈 하나의 두께는 0.95 mm 그리고 렌즈 한 면의 곡률반경은 0.268 mm로 설계를 얻었다. 곡률반경을 0.266 mm부터 0.270 mm까지 변화시켜가며 ray fan을 계산한 결과가 그림8과 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 곡률반경은 0.266 mm 가 적합한 것으로 보이나 Gauss 상면이 약 0.4 mm 정도이동이 되므로 0.268 mm로 확정하였다. 또한 최악의 경우라 할지라도 광선이 0.035 mm 반경 이내에 모두 집속되고 축외의 물체에 대해서도 반경 0.05 mm 이내에 집속된다. 따라서 축상에서는 30 lps/mm 정도 축외에서는 20 lps/mm 이상의 분해능을 가진다고 판단된다. 그림 9에는 두 렌즈의 두께가 모두 같은 양으로 0.02 mm씩 차이가 날 때 ray fan에 미치는 영향을 보여주고 있다. 최악의 경우 축상은 25 lps/mm 이상,

축외에서는 15 lps/mm 정도의 분해능은 될 것으로 판단된다. 그림 10은 렌즈 하나는 두께가 정확하고 하나만 0.04 mm 만큼 차이가 날 때의 ray fan을 나타내고 있으며 그림에서  $T_1$ 은 물체쪽 렌즈의 두께를 말하고  $T_2$ 는 상쪽의 렌즈 두께를 의미한다. 두 경우는 거의 비슷한 경향을 보이고 있고 또한 그림 9와도 유사한 경향을 볼 수 있다. 그림 11에는 초점이 전후로 0.04 mm까지 변화했을 때 ray fan에 미치는 영향을 보여주고 있으며 그림에서 보는 바와 같이 성능에 큰 영향이 없다. 그림 12에는 구면가공에 차질이 있을 경우를 대비하여 두 렌즈가 동일하게 두께가 동일하게 같은 모양으로 conic constant가 -1.5 부터 0.125까지 변화할 때에 ray fan에 미치는 영향을 조사한 결과가 나타나 있다. 이 때에도 single layer array lens 설계시와 유사하게 conic constant가 -0.5일 때가 가장 성능이 좋은 것으로 나타나 있다. 성능에는 크게

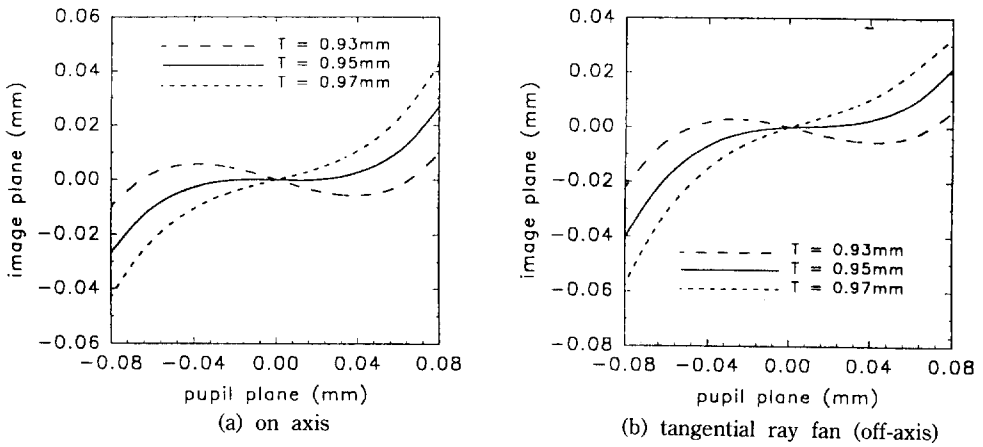


그림 9. Effects of the thickness on the ray fans of double layer micro array lens system (both lenses).

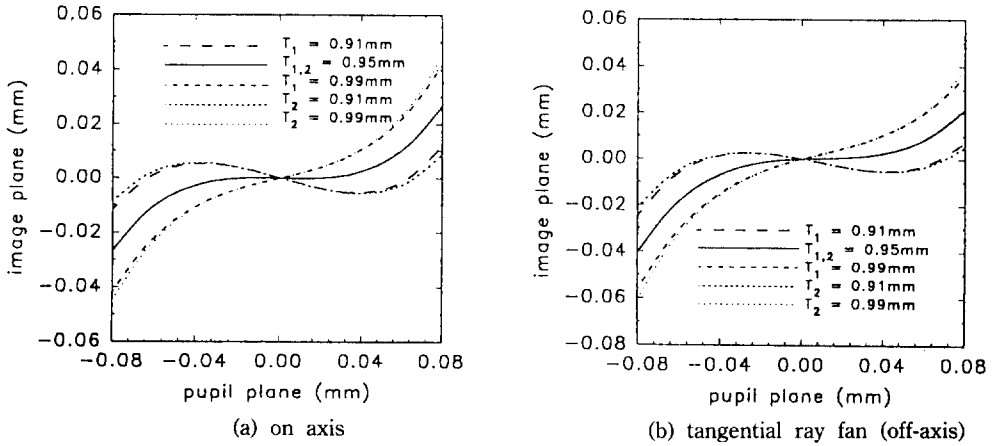


그림 10. Effects of the thickness on the ray fans of double layer micro array lens system (one of the two lenses).

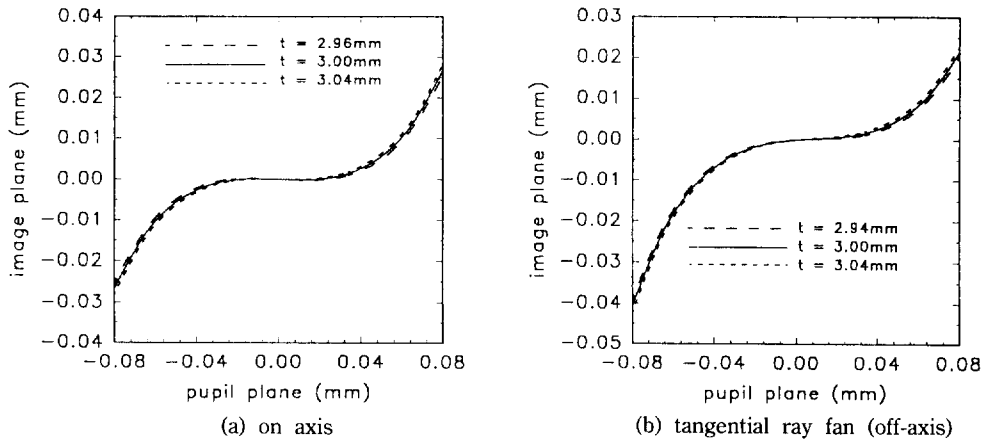


그림 11. Defocussing effects on the ray fan of double layer micro array lens system.

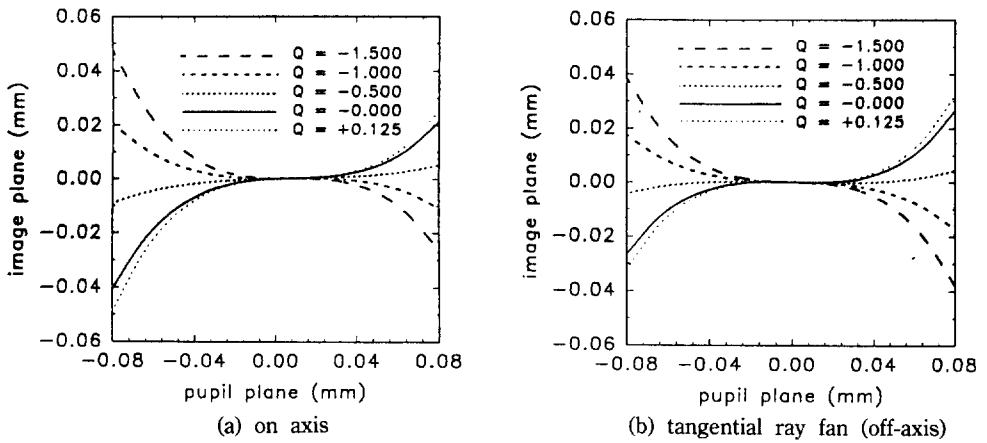


그림 12. Aspheric effects of one lens on the ray fans of double layer micro array lens system (both lenses).

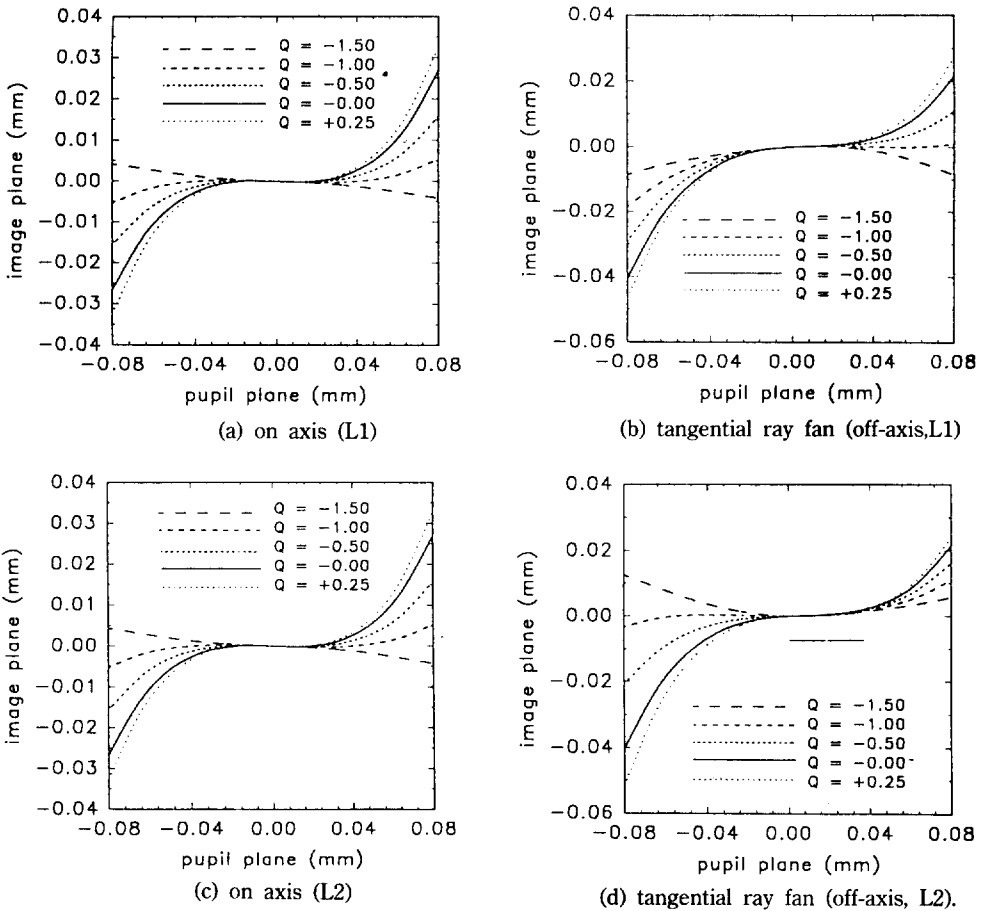


그림 13. Aspheric effects of (one lens on the ray fans of double layer micro array lens system one of the two lenses).

차질이 없다. 그림 13에서 (a), (b)는 물체쪽 렌즈만 비구면화 되고 상쪽은 구면이며 (c), (d)는 반대로 상쪽은 비구면화 되고 물체 쪽은 구면인 경우에 대하여 conic constant가 -1.50부터 0.25까지 변화할 때에 ray fan에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 범위 안에서는 모두 최악의 경우여라도 축상에서는 0.04 mm 반경 이내에 광선이 집속되고 축외에서는 0.05 mm 반경 근처에 집속된다. 따라서 기하광학적으로 해석하면 축상에서 25 lps/mm, 축외에서 20 lps/mm 정도의 분해능을 갖는 결상계가 될 수 있다. 또한 conic constant는 -0.5일 때에 집속력이 좋은 것으로 판단된다. 앞의 single layer의 경우와 마찬가지로 고려하여 볼 때 본 설계는 국내에서 가공이 가능할 것으로 판단된다.

### V. 결 론

본 연구를 통하여 고찰한 바로서 micro lens array는 single layer 보다는 double layer로 하는 것이 물체거리도 줄며 조명효과도 2배 정도 증대하고 성능도 우수함을 알 수가 있었다. 그리고 복사기나 팩시밀용으로는 충분한 성능을 가질 수가 있다고 판단된다. 동일한 렌즈를 2중으로 배열하는 것이므로 공정에도 큰 부담이 적기 때문에 single layer 보다는 double layer를 개발

하는 것이 바람직하다. 설계변수의 공차는 매우 복잡하게 생각할 수도 있지만 단순하게 한 변수에 대하여 각각 조사하였다. 위의 결과로 보아서 곡률반경은 수  $\mu\text{m}$ , 두께는 백분의 수 mm, conic constant도 매우 큰 범위가 허용되는 것으로 보아 국내에서도 기술개발 가능성이 높다고 판단된다. 앞으로 모든 사무기구나 가전제품들이 점점 소형화 고성능으로 발전하는 추세이므로 국내에서도 micro lens array의 개발에 더욱 박차를 가하여야 할 것이다.

### 감사의 말씀

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구 지원으로 수행되었으며 이에 감사한다. 또한 삼성코닝주식회사의 연구진과 주식회사 신도리코의 연구진 그리고 한국과학기술원 물리학과 교수님들의 조언에 감사한다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. F. Borrelli, R. H. Bellman, J. A. Durbin, and W. Lama, *Appl. Opt.*, **30**, 3633(1991).
- [2] Iga Okawa Kokubun, *Fundamental of Microoptics*, (Academic Press Inc., Tokyo, 1984).
- [3] 홍경희, *한국광학회지*, **3**, 217(1992).

## Design of Micro Lens Array

Kyung Hee Hong  
Korea Military Academy, Seoul 139-799, Korea

(Received: October 18, 1993)

Micro array lens systems are designed for a faximile or copy machine. The array type is hexagonal. Diameter of a lens is 0.16 mm and the distance of the center of the nearest neighbor is 0.192 mm. The magnitude of the lens system is 1:1. Working distance is 10.55 mm and the spot size is less than 0.04 mm radius on axis and 0.20 mm off-axis in case of single layer system. Working distance is 7.90 mm and the spot size is less than 0.07 mm radius on axis and 0.09 mm radius off axis in case of double layer system. Performance of single layer micro array lens system and double layer micro array lens system are compared with the characteristics of the ray fans.