

휴대폰 카메라 모듈의 조립공차 개선 시스템에 관한 연구

예인수[#], 정선환^{*}, 최성대^{*}, 현동훈^{**}

The Study on the System of Improving the Assembly Tolerance of Cellphone Camera Module

In-Soo Ye[#], Seon-Hwan Cheong^{*}, Seong-Dae Choi^{*}, Dong-Hoon Hyun^{**}

(Received 20 August 2010; received in revised form 29 October 2010; accepted 29 October 2010)

ABSTRACT

Tolerance analysis is one of the most important processes to improve the image quality of products. High resolution camera module for mobile phones needs precision assembly technology since the module becomes smaller and thinner. This paper will focus on the unit tolerance and the assembly tolerance which can affect the performance of the module. Lens shading and relative illumination were used to evaluate the optical axis scatter for each component on camera and estimate the assembly yield rate based on the evaluation result. A program was developed to analyze the impact on optical axis by each module, then to optimize the dimensions and tolerance for reducing the scatter of optical axis assembly.

Through the simulation, though a rate of relative illumination was declined in where optical axis is displaced 100 μ m from sensor center, MTF performance is not influenced by increasing in optical axis displacement. It was seen that assembly yield was improved in result of simulation after correcting optical axis tolerance

Key Words : Assembly tolerance(조립공차), Camera module(카메라모듈), Relative illumination(주변광량비), Optical axis(광축)

1. 서 론

초정밀 광학부품에 대한 공차분석은 제품 전체의 성능인 상질(Image quality)에 중요한 영향을 미친

다. 현재 고화소에 따른 센서의 픽셀(Pixel) 크기가 1.2 μ m 정도로 극소화되면서 휴대폰용 카메라 모듈은 점차 소형화, 초박형화 추세에 따라 고화소의 렌즈 설계, 고정도의 금형기술, 재현성을 확보할 수 있는 사출성형 기술 및 정밀조립 기술 등이 필요하다. 센서의 픽셀 크기가 작아지면 수광 면적이 줄어들게 되므로 렌즈에 입사되는 광속(Light flux density)을 더 늘려주어야 한다. 따라서 수차(Abration)나 민감도가 증가되어 카메라 모듈의 조립공차 허용범위가 점점 작아지게 되므로 고화소에 적합한 조립공차 개선기술이 시급히 필요하다.

교신저자 : 경기공업대학 기계설계과

E-mail : yis@kinst.ac.kr

* 금오공과대학 기계공학부

** 한국산업기술대학교 나노광공학과 교수

최근의 초정밀 가공기술의 발달로 가공분야의 정밀도는 크게 향상⁽¹⁻⁴⁾되었으나, 카메라 모듈 조립분야에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다. 즉 최⁽⁵⁾ 등은 생산성 향상을 위한 렌즈의 조립 자동화에 대해 연구하였으며, 장⁽⁶⁾은 공차 배분법을 이용한 유전알고리즘을 통해 조립제품의 특성치에 대해 연구하였다. Merkley⁽⁷⁾ 등은 유한요소 해석법을 통해 개별 부품의 유연공차를 조합하는 방법을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 여러 가지 공차 중 휴대폰용 카메라 모듈의 성능에 크게 영향을 미치는 조립공차에 한정하였다. 또한 고기능 카메라 모듈에서 화질 성능의 주요 평가항목인 주변 광량비(Relative illumination)와 렌즈 웨이딩(Lens shading)을 평가기준으로 하여 카메라 모듈 성능향상을 위한 부품조립 공차 중 광축(Optical axis)의 조립공차를 대상으로 연구하였다.

2. 관련이론

2.1 몬테카를로(Monte Carlo) 최적화

몬테카를로 방법이란 시뮬레이션 테크닉의 일종으로 모든 광학소자의 치수들을 확률함수라고 가정하고 각각의 규격범위 내에서 임의(Random)의 치수를 발생시켜 설계성과 제작성능 차이를 분석하는 방법이다. 다음 식(1)은 표본특성과 모집단의 특성이 동일하다는 것을 증명하는 것으로, 몬테카를로 방법이 통계적으로 유효하다는 것을 나타낸다. 여기서 임의의 수로 이루어진 크기 N인 모집단의 평균 $\langle x \rangle$ 와 크기 n인 표본의 평균 $\langle x \rangle_s$ 의 관계를 표현한다.

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_i^N X_i, \quad \langle x \rangle_s = \frac{1}{n} \sum_i^n X_i \quad (1)$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \langle x \rangle_s = \langle x \rangle$$

2.2 주변광량비(Relative illumination)

카메라 모듈에서는 주변의 광량비를 와이-웨이딩(Y-Shading)이라하며, 일반 소비자가 색감위치를 정량화하여 평가하는 방법으로서 촬영 이미지에서 휘도 신호에 대한 중심부와 주변부의 광량비를 평가한다. 식(2)는 상 검출기(Image sensor)의 중심으로부터 출사된 광량대비 상 검출기의 주변으로부터 출사된 광량비를 표시한다. 주변 광량비의 측정범위는 카메라 모듈에서 가장 광량의 분포가 밀집되어 있는 0~100 μ m 범위를 선택한다.

$$RI = \frac{\text{Illumination full field}}{\text{Illumination on axis}} \quad (2)$$

센서의 광축 정밀도 변위(Shift)는 가상의 광축에 대하여 센서의 중심으로부터 어긋난 변위오차(Shift error) 또는 오프셋 에러(Offset error)를 말한다.

Fig.1은 카메라 모듈에서 누적된 각각의 개별 부품들의 조립산포에 의해 누적산포가 발생하게 되고 센서 상면에 변위오차를 일으키게 된다.

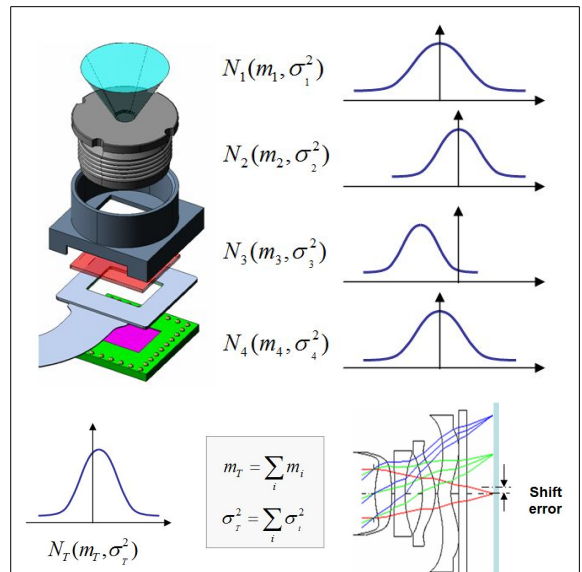


Fig. 1 Optical axis accuracy by individual scattering of camera module

3. 연구방법

3.1 광축 모델링

공차의 최적화를 위해서 카메라 모듈의 조립공정에서의 광축과 관련하여 각 공정별로 발생하는 오차에 대하여 모델링하였다. Fig. 2는 센서, PCB, 하우징 오차를 나타낸다. 카메라 모듈 조립 시 발생하는 광축오차는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 센서를 PCB상의 인식마크 기준으로 조립하는 과정에 플립칩(Flip chip) 본딩(Bonding) 정렬산포가 발생한다.

두 번째는 PCB를 하우징에 본딩 조립하는 과정에서 조립오차가 발생한다.

플립칩 본딩 정렬산포에 의한 센서와 PCB 정렬시 발생하는 오차(e_1)은 식(3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} e_1 &= e_{SB} + (L_{mark1} - L_{mark2}) \\ &= e_{SB} + e_{mark} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 e_{SB} 는 센서의 본딩시 조립오차이고, L_{mark1} , L_{mark2} 는 인식마크의 위치오차이다.

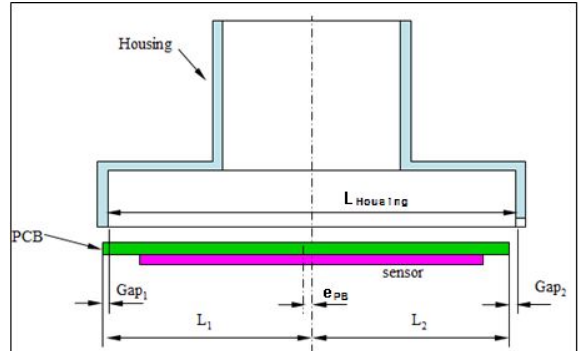
PCB에 하우징을 조립하는 과정에서 PCB G_{ap} ($\pm G_{ab}$)이 발생하며 식(4), (5)와 같다.

$$Gap_1 = L_{Housing}/2 - L_1 + e_{PB} \quad (4)$$

$$Gap_2 = L_{Housing}/2 - L_2 + e_{PB} \quad (5)$$

여기서 $L_{Housing}$ 을 하우징 내측길이의 평균과 산포이고, e_{PB} 는 조립산포로서 PCB를 하우징에 본딩하는 공정에서 발생하는 센서중심과 인식마크 중심간의 조립오차이다. $G_{ap} > 0$ 이면 조립이 가능하고, $G_{ap} < 0$ 이면 조립이 불가능하다. 센서와 하우징간의 조립에 있어서는 본딩 조립 후 경화공정까지 이동시의 밀림 산포까지 고려한 정렬오차(e_2)는 식(6)과 같다.

$$e_2 = e_{PB} + (PCB \text{ 본딩후 밀림 접촉오차}) \quad (6)$$



3.2 모듈 조립 후 주변 광량비 평가

이미지 측정은 Fig. 3의 DNP standard color viewer로 측정하였으며, 렌즈를 통해 모니터로 영상을 볼 때 화면의 중심부와 주변부의 밝기의 차(shading, %)를 평가하였다. 색온도 5100k에서 표준색 차트를 테스트 보드의 화면에서 보았을 때, Red, Green, Blue, Yellow, Cyan, Magenta, White color가 구분이 가능하도록 조건을 설정하였다.

광축 산포에 따른 주변의 광량비 변화를 측정하기 위해 Fig. 4의 MTF(Modulation Transfer Functions) 측정설비를 이용하였다. 광축이 센서의 중심에서 0~100 μ m까지 변화시켜 주변의 광량비 변화를 검토하였다.



Fig 3. DNP viewer

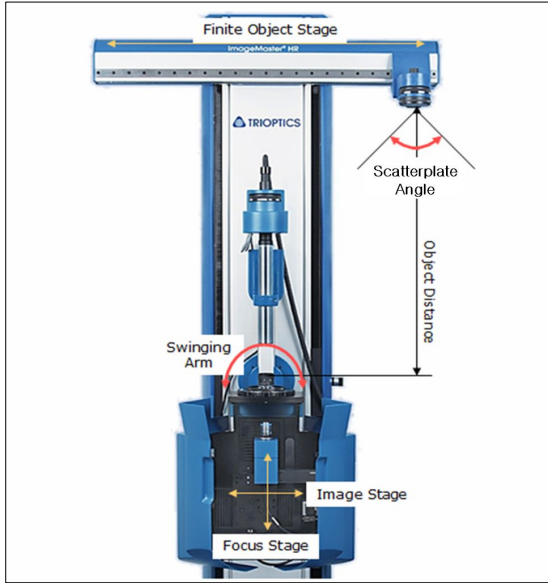


Fig. 4 MTF measurement facilities

4. 연구 결과

4.1 렌즈의 광축 변화에 따른 성능 시뮬레이션

메가급 렌즈에서의 주변의 광량비 저하에 대한 결과를 분석하기 위해 광축이 센서중심과 일치할 경우와 일치하지 않을 경우의 주변 광량비를 측정하였다. Fig. 5는 일치할 경우로 주변 광량비는 49.73%를 나타내었다. 또한 Fig. 6과 Fig. 7에서와 같이 광축이 100 μm 변위되어 일치하지 않을 경우에는 좌측의 주변 광량비는 38.77%가 되고, 우측은 51.4%로 광축이 한쪽으로 쏠리는 현상이 발생하였다.

Fig. 8과 Fig. 9에서는 광축 변위시 통과 초점 변조전달함수(Through Focus MTF)변화를 표시한 것으로 광축 변화량 증가시 1.0 필드를 제외하고 MTF에 대한 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다. 따라서 광축이 주어진 스펙(Specification)을 벗어날 경우 주변의 광량비 저하가 발생하며, MTF 성능에서는 1.0 필드를 제외하고 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

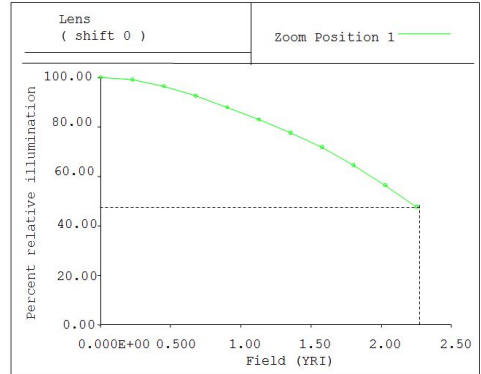


Fig. 5 Relative illumination of optical axis displacement "0 μm "

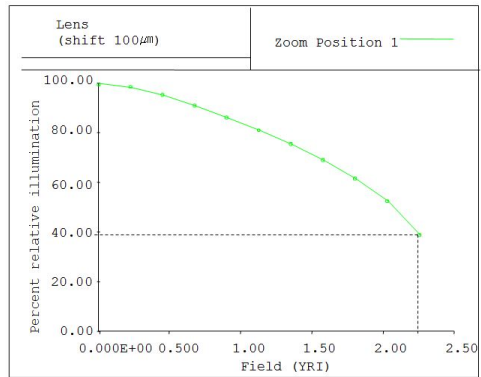


Fig. 6 Relative illumination of optical axis displacement "100 μm "(Left)

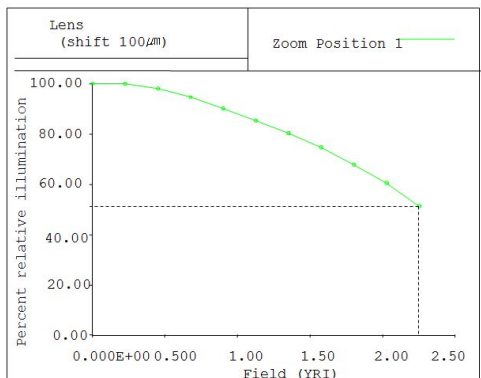


Fig. 7 Relative illumination of optical axis displacement "100 μm "(Right)

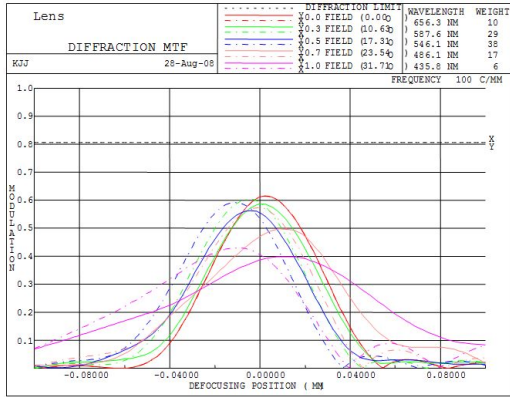


Fig. 8 Through focus MTF of optical axis displacement "0µm"

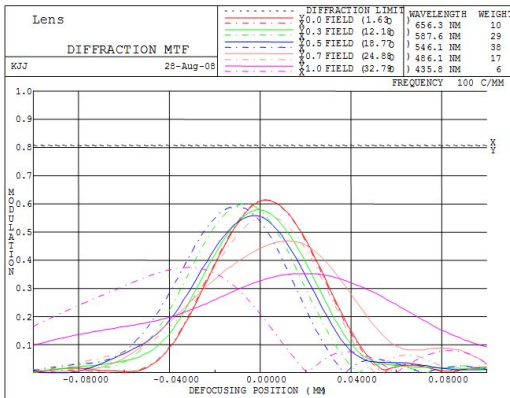
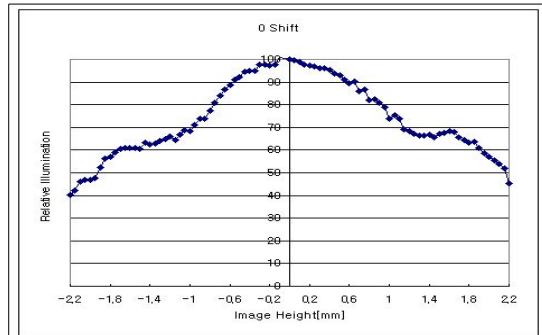


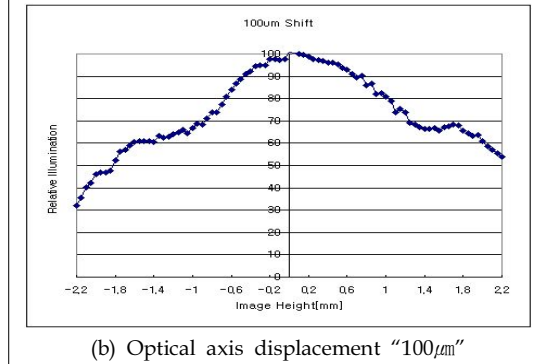
Fig. 9 Through focus MTF of optical axis shift "100µm"

4.2 렌즈의 광축 변위에 따른 주변 광량비 측정

MTF 측정기를 통한 렌즈 주변 광량비 측정결과도 광축이 중심에서 100µm 변위 되었을 때는 시뮬레이션 한 결과와 유사하게 축이 한쪽으로 쏠리는 현상이 발생하였다. Fig. 10은 실제 MTF 측정기를 사용하여 렌즈가 광축으로부터 변위됨에 따라 주변 광량비가 변화하는 것을 측정한 것이다. 여기서 이미지 높이(Image height)는 센서의 대각 길이로서 4.4mm의 범위이다.



(a) Optical axis displacement "0µm"



(b) Optical axis displacement "100µm"

Fig. 10 Measurement of Relative illumination by optical axis displacement

4.3 시뮬레이션을 통한 광축 공차 개선

산포를 고려한 광축 시프 분석결과, 렌즈 조립시 이미지 마진(Image margin) 100µm보다 광축 편심량이 큰 경우에 광축 시프트가 더 많이 발생하며, 이것이 광학적 성능과 연계되어 조립수율 저하의 주요한 원인이 된다.

조립 수율(yield)의 저하를 방지하기 위해, 본 연구에서는 먼저 조립공차를 개선하는 방향으로 Fig. 11에 표시한 바와 같이 하우징 하단 내면을 기준으로 하여 각 부품의 광축공차를 평가하여 최소화하는 방법을 채택하였다. Table 1에 광축변위 주요인자의 개선 전과 개선 후의 공차 개선 상태를 나타낸다. 또한 각 부품의 광축관련 공차를 보다 작게 함으로서 조립수율이 향상됨을 알 수 있었다. 주요인자들은

F 패턴변위(인식마크 위치공차), FPCB 외측공차(PCB 외측길이), 하우징 내측공차 등이다. 이 중 인식마크의 위치공차가 가장 큰 영향을 준다.

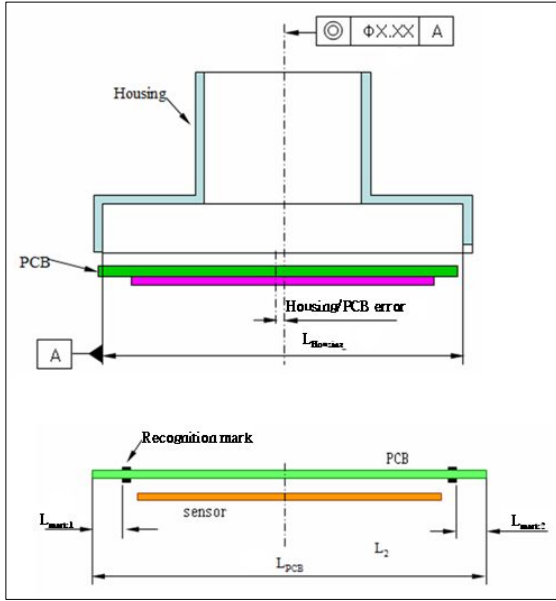


Fig. 11 Major variable for improve to optic axis

Table 1 Mechanical changes of before & after improvement

No	Division	Before improving		After improving	
		Average (mm)	+ , - spec	Average (mm)	+ , - spec
1	PCB external length	A	0.05	A	0.03
2	Recognition mark position error	B	0.07	B	0.05
3	Housing inside error	C	0.05	C	0.03
4	Housing/PCB assembly error	0	0.05	0	0.05
5	Housing concentricity	0	0.04	0	0.02
6	Housing/PCB assembly yield	65.73%		80.24%	

광축관련 각 치수의 산포에 대한 조립수율의 예측 및 각 공차 별로 조립수율에 민감한 인자를 파악할 수 있도록 C++ S/W를 이용하여 프로그래밍을 하였

다. 이 S/W를 통해 제품설계 시 광축 개선효과가 큰 공차를 집중적으로 개선하여 효율적으로 광축 산포를 줄일 수 있었다.

Fig. 12는 개선 전을 나타내며, Fig. 13은 개선 후 광축공차 시뮬레이션 결과이다. ①은 Input 데이터로서 부품의 광축관련 항목 및 스펙을 나타내었고 ②는 렌즈와 하우징의 편심을 나타내었다. ③은 Output 데이터로서 조립결과의 수율을 표시한다. 시뮬레이션을 통한 조립 수율의 예측결과 값은 Fig. 12에서 65.73%이며 Fig. 13에서는 80.2%로 나타나 조립수율 개선 후 크게 향상되었으므로 알 수 있었다. 여기서 조립 수율은 PCB에 하우징을 조립하는 과정에서 발생하는 PCB G_{ap}(±G_{ap})이 G_{ap} > 0 경우에만 조립이 된다고 가정하였으나 부품의 유연성으로 인해 G_{ap} < 0인 경우에도 조립이 되므로 이 경우까지 감안하면 조립 수율은 95%로 올라간다.

따라서 부품의 유연성을 고려한 시뮬레이션이 추가로 필요하며 향후 연구과제로서 남겨 놓는다.

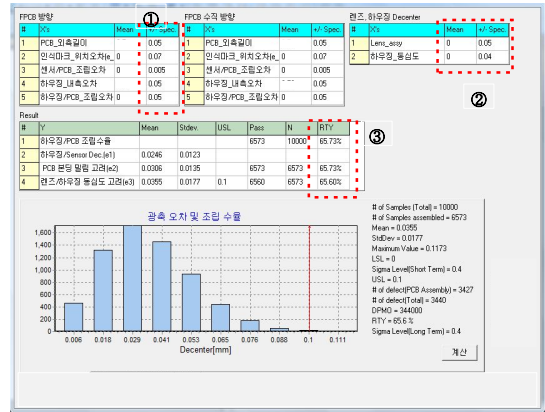


Fig. 12 Optical axis tolerance simulation (Before improving)

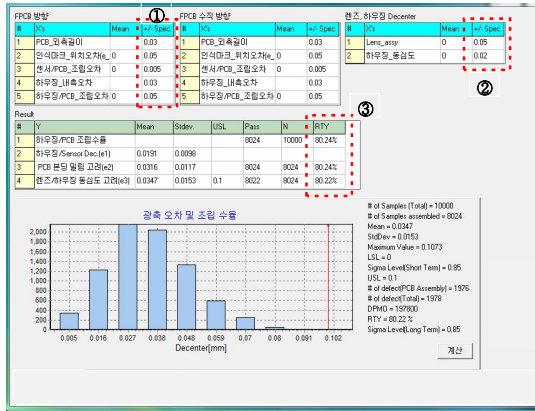


Fig. 13 Optical axis tolerance simulation (After improving)

5. 결론

본 연구에서는 휴대폰용 카메라 모듈에서의 각 부품에 대한 광축 산포에 대한 영향도를 파악한 후 조립 수율을 예측하고자 하였다. 이를 위해 개발된 프로그램을 이용하여 각 부품별로 광축에 미치는 영향도를 분석(모델링)한 후 부품치수 및 공차를 최적화하여 광축 조립산포를 줄일 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 모듈의 성능 비교 및 광축산포에 대한 주변 광량비와 MTF와의 상관성을 검토하였고 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 메가급 렌즈에서의 시뮬레이션 한 결과, 주변의 광량비는 광축이 센서의 중심과 일치할 경우에는 47.7% 이며, 광축이 100 μ m 변위되었을 때는 좌측은 38.7%, 우측은 51.4%로 광축 변위에 의한 주변의 광량비 저하가 현저하게 나타났다. 또한 렌즈 주변의 광량 측정시에도 유사한 Δ 변위량 값을 얻을 수 있었다.
2. 광축 변위량 증가 및 광축이 스펙에서 벗어나는 정도에 따라 렌즈 주변광량비의 저하가 발생하며 MTF 성능과는 유의한 차이가 없었다.
3. FPCB 패턴 Shift(인식마크위치공차), FPCB 외측공차(PCB외측길이) 그리고 하우징 내측공차가 광축

시프트 산포의 주요 인자였으며, 이중 FPCB 패턴 변위가 가장 큰 영향을 주었다. 또한 상위 인자의 공차 산포를 줄일수록 조립수율이 개선되어짐을 알 수 있었다. 각 부품의 광축관련 공차를 보다 작게 하여(공정능력 유지) 시뮬레이션을 한 결과 조립수율의 예측결과는 65.73%에서 80.2%로 크게 향상됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. K. G. Merkle, K. W. Chase, E. Perry, "An Introduction to Tolerance Analysis of Flexible Assemblies," MSC World Users' Conference, MSC Software Corp., Newport Beach, CA, USA, 1996.
2. Zhihua Zou and Edward Morse "Statistical Tolerance Analysis Using GapSpace," 7th CIRP Seminar, ENS de Cachan, pp. 313-322, France, 2001.
3. Bryan F. Bihlmaier, "Tolerance Analysis of Flexible Assemblies Using Finite Element and Spectral Analysis," MS thesis, Brigham Young University, 1999.
4. J. P. McGuire, Jr., " Designing Easily Manufactured Lenses Using a Global Method," in International Optical Design, Technical Digest (CD), Optical Society of America, 2006.
5. Choi, J. S., Lee, K. S., Im, D. H., Song, J. Y., Lee, C. W., Gwak, Y. G., Kim, S. H., "A Research on the Assembly of the Camera Modules for Mobile Phones," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 989-992, 2005.
6. Jang, H. S., "Development of Simulation Model to Assembly Tolerance Design", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol. 3, No 3, pp. 221-230, 2001.
7. Market Breakdown of Camera Phone "2nd Half 2007 & 1st Half 2008 Forecast", TSR, Tokyo, 2008