

# 유한요소해석과 낙하충격 실험을 통한 자동초점 액추에이터의 내충격 특성 향상

## Shock Resistance Characteristic of Auto Focus Actuator using Finite Element Method and Drop Impact Test

신민호\*, 김효준\*, 박규섭\*\*, 김영주<sup>†</sup>

Min-Ho Shin, Hyo-Jun Kim, Gyusub Park and Young-Joo Kim

(2013년 9월 16일 접수; 2013년 9월 23일 심사완료; 2013년 9월 24일 게재확정)

### Abstract

The recent increased use of mobile phone has resulted in a technical focusing on reliability issues related to drop performance. Since mobile phone may be dropped several times during their use, it is required to survive common drop accidents. The plastic injection parts such as base stopper and carrier in the encoder type actuator can be broken easily in the actual reliability test of 1.5m free drop. So, we analyzed the shock resistance characteristics of auto focus actuator with variables in the material properties using finite element method. By applying the new resin materials, we can decrease the breakage of plastic injection parts and improve the reliability of mobile phone.

**Key Words :** Drop Impact analysis, Camera module, Drop test, FE Analysis

### 1. 서론

최근 고화소 휴대폰 카메라가 등장함에 따라 자동초점(Auto focus, AF) 기능이 필수적으로 요구되고 있다. 초기 휴대폰 카메라는 고정 초점 방식으로 특정 거리에 있는 영상만을 촬영할 수 있었으나, 정확한 초점을 얻기 위해 렌즈를 이동시켜 주는 AF 액추에이터가 탑재되면서 다양한 거리에 있는 영상을 더 선명하게 찍을 수 있게 되었다. 이에 따라 최근 출시되는 대부분의 휴대폰 카메라에는 AF 액추에이터가 채택되고 있는데, 그 구동 방식으로는 VCM (Voice coil motor), piezo, encoder 방식이 주로 사용되고 있다. VCM 방식은 부피가 작고 가격이 싸서 시장규모가 크지만 구동거리가 다소 짧다는 단점이 있다. Piezo 방식은 기어가 따로

필요 없고 에너지 소비가 적지만, 온도에 민감하고 제어하기가 어렵다. 마지막으로 encoder 방식은 볼부싱을 이용한 접촉식 가이드를 사용하여 구동거리가 뛰어나지만 원가가 VCM 방식에 비해 다소 높다.[1-3] 최근 고화소 카메라의 수요가 늘어나면서, 렌즈의 이동거리가 길어짐에 따라 상대적으로 구동거리가 긴 encoder 방식 액추에이터의 시장규모가 커지는 추세이다. 또한 스프링으로 위치제어를 하는 VCM 방식에 비해 encoder 방식은 홀센서를 부착하여 위치제어를 하기 때문에 위치 제어 정밀도와 응답속도가 뛰어나다는 장점이 있다. Fig.1은 encoder 방식의 AF 액추에이터의 단면으로 base, cover, carrier, lens, ball, magnet, coil로 구성된다. Encoder 방식은 magnet에서 발생하는 magnetic flux와 coil에 흐르는 전류(current)가 상호 작용하여 생기는 전자기력(electromagnetic force)에 의해 구동된다. 초점을 맞추기 위하여 가해주는 일정량의 전류에 의해 lens를 감싸고 있는 carrier가 base와 cover의 중심을 지나는 광축(z-axis)을 따라서 정해진 거리를 정확히 이동한다. Carrier가

<sup>†</sup> School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ  
E-mail : yjkim40@yonsei.ac.kr  
TEL : (02) 2123-6852

\* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ

\*\* Jaeyoung Solutec

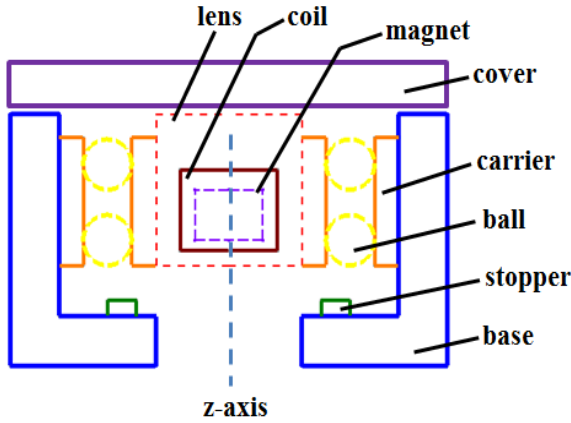


Fig. 1 A Cross section of encoder type AF actuator

이동하는 동안 렌즈 광축(z-axis)은 tilting 이 없어야 하며 stroke 에 대한 정밀함이 요구된다. 구조적으로 carrier 가 z 축을 따라 가장 아래로 내려왔을 때 base 와 접촉하게 되는데, 접촉 면적이 넓으면 표면장력에 커져서 carrier 의 위치를 제어함에 있어 정확한 위치제어가 어려워진다. 이를 해결하기 위해 carrier 와 base 사이에 돌기 형상의 stopper 를 두어 표면장력의 영향을 최소화함으로써 carrier 의 정밀한 stroke 운동이 가능하도록 도와준다. 하지만 stopper 와 carrier 가 충돌할 때, 접촉하는 부분에서 생기는 충격력에 의해 파손이 일어나게 되면 정밀한 stroke 제어가 어려울 것이다. 특히 휴대폰 사용 특성상 낙하에 의한 외부 충격이 빈번히 발생하므로, 이에 대한 안정성 확보가 중요하다. 이 때문에 유한요소해석이나 실험을 통한 카메라 모듈의 낙하 충격에 대해 많이 연구되고 있다.[4-6]

본 연구에서는 핸드폰 낙하 충격에 대해 카메라 모듈에서 발생할 수 있는 문제점을 확인하고, 시뮬레이션을 통해 stopper 에서의 응력 집중 현상을 해석하고자 한다. 또한 Stopper 의 위치나 형상 등을 변경하여 집중되는 응력을 분산시킴으로써 낙하 충격에 대해 발생하는 파손부위를 개선할 수 있으나, stopper 의 형상을 바꿀 경우 stopper 와 carrier 사이에서 발생하는 표면장력이 달라져 구동특성 또한 변하게 되어 이를 제어하기 위한 불편함이 따른다. 따라서 카메라 모듈의 구동 특성에 영향을 미치지 않는 물성 변화를 통해 내충격 특성을 개선하고자 한다.

## 2. 연속 낙하 실험

### 2.1 연속낙하 실험 조건

실제 제작된 카메라 모듈의 충격 특성을 알아보기 위해서 Fig.2 의 자동 충격 시험기를 이용하여 실험을 진행하였다. 최근 업계의 요구는 일반인의 귀높이(1.5m)에서 낙하했을 때 AF 액추에이터의 안정성 및 성능유지이다. 기존 낙하 실험 조건은 1.5m 높이에서 19 회 자유 낙하 조건으로 실험 하였으나, 연속 낙하와 충격에 대한 신뢰성 확보가 중요해짐에 따라 한층 강화된 300 회 연속 낙하 실험이 적용되고 있으며, 낙하 실험 조건은 Table 1 과 같다. 낙하 실험에 사용된 카메라모듈의 재원은 무게 0.6g, 가로세로 8.5 mm, 높이 5.15 mm인 encoder 방식의 800 만 화소 AF 액추에이터다. 휴대폰을 모사한 dummy phone 에 10 개의 카메라 모듈을 장착하여 300 회 연속 낙하 시험을 수행하였으며, 액추에이터가 낙하 할 때의 방향은 임의로 정의된다.

### 2.1 연속낙하 실험 결과

Fig.3 은 카메라 모듈의 base 와 carrier 의 300 회 낙하 실험 후 사진이다. 10 개의 카메라 모듈 중에 파손이 나타난 시료는 3 개였고, base 의 stopper 부분과

Table 1 Continuous free fall condition for actuator

Material of Impaction	Steel Plate
Land Surface	Steel Plate
Drop Type	Free Fall
Drop Height & Times	100 times at 1m & 200 times at 50cm



Fig. 2 Automatic drop test equipment

carrier 가 닿는 부분에서 각각 파손이 발생했으며, 파손이 발생하지 않은 정상 시료의 경우에도 표면 박리가 진행되고 있음을 발견했다. 파손된 시료의 경우, Fig.3 의 c,d 의 stopper 가 가장 많이 파손 되었으며, a,b 의 stopper 에서도 육안으로 확인할 수 있을 정도로 파손되었다. 또한 stopper 에 비해 비교적 파손의 정도는 작지만 stopper 와 충돌하는 carrier 의 아랫면에서도 파손이 발견되었다. 이러한 파손이 발견된 모든 시료에서는 적외선 필터에서 Fig.4 와 같은 이물이 발견되었다. 적외선 필터에서 발견된 이물의 출처를 파악하기 위해 파편 및 카메라 모듈의 부품에 대해 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)분석을 진행하였다. EDS 분석 결과, Fig.5 를 통해 알 수 있듯이 적외선 필터에서 발견된 이물은 base 와 carrier 의 제작에 사용되는 플라스틱 사출 재질로 판명되었다. 이는 낙하 충격 시에 base 와 carrier 가 파손되면서 떨어져 나온 파편이 적외선 필터에 떨어진 것으로 판단된다. 결국 낙하 충격에 의한 base 와 carrier 의 파손은 액추에이터의 동적 특성뿐만 아니라 카메라 모듈의 광학성능에도 악영향을 미칠 가능성이 존재하므로 이에 대한 개선이 필요하다.

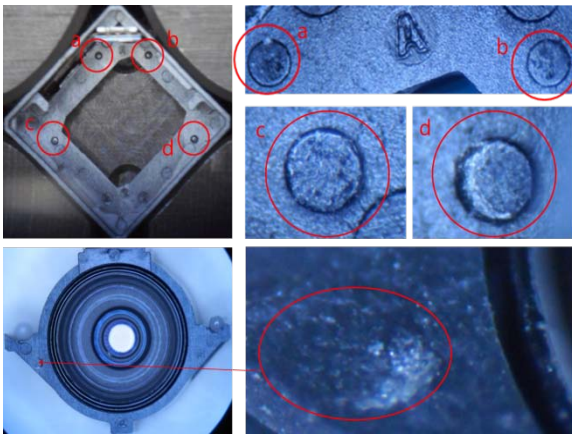


Fig. 3 Shock breakage at base & carrier by continuous free fall

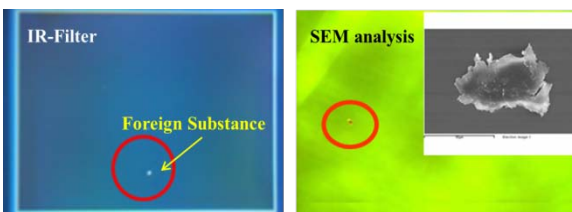


Fig. 4 SEM image of a foreign substance

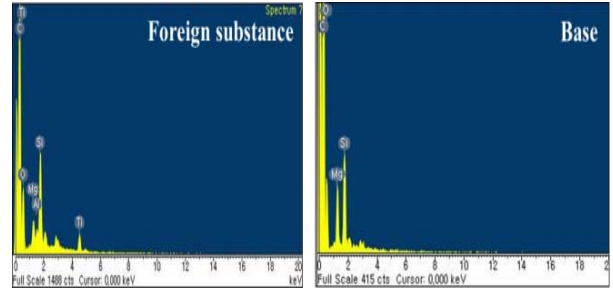


Fig. 5 EDS analysis of a foreign substance & base

### 3. 낙하 충격 시뮬레이션

#### 3.1 유한 요소 모델링 및 경계조건

본 연구의 낙하 충격 해석 모델은 Fig.6(a)에서 보여지는 Encoder 방식의 카메라 모듈이다. 앞선 연속 낙하 실험을 통해서 낙하 충격이 발생했을 때 실제 파손이 일어나는 부위에 대해 알 수 있었다. 따라서 실제 파손과 관련이 없거나 구조의 강성에 크게 영향을 주지 않는 부품을 고려하여 Fig.6(b)와 같이 단순화하였으며, 이를 바탕으로 유한요소 모델을 생성하였다(Fig.6(c)). 카메라 모듈에서 낙하 시 지면과 충돌할 때의 거동을 살펴보면, 본체와 고정되어 있는 base 가 충돌과 동시에 운동방향이 반대로 바뀌게 된다. 하지만 카메라 모듈의 축방향으로 구속이 없는 carrier 는 관성에 의해 낙하방향으로 운동을 하게 되고, 이 때문에 base 의 stopper 와 carrier 가 충돌하게 된다. Fig.7 에서 보는 바와 같이, base 와 stopper 가 충돌하는 속도는  $V_{axial}$  이며, 식(1)을 통해 핸드폰이 낙하하는 각도  $\theta$  에 대해 가질 수 있는 최대 충돌 속도는  $V_y$ , 즉 휴대폰의 자유 낙하속도가 된다.

$$V_{axial} = V_y \cos \theta$$

$$(V_{axial})_{max} = V_y \quad (1)$$

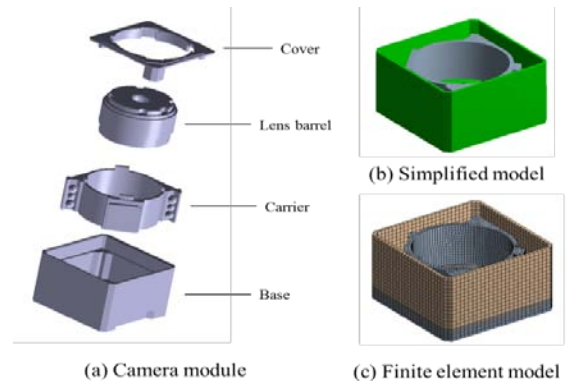


Fig. 6 Finite element model of camera module

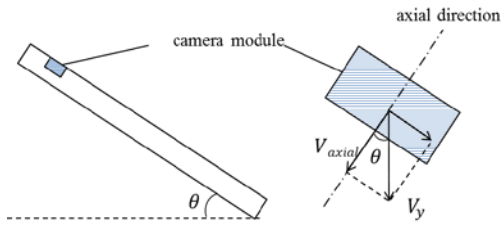


Fig. 7 Drop impact velocity of camera module

Table 2 Mechanical property of FIT-70

	Unit	FIT-70
Density	kg/m <sup>3</sup>	1650
Tensile Strength	MPa	110
Tensile Modulus	GPa	12
Poisson Ratio	-	0.45

일반인의 귀 높이인 1.5m 에서 자유 낙하하는 모델을 구현하기 위해서 위치에너지와 운동에너지의 평형 조건식을 사용하여 다음과 같은 충격 속도식을 유도 하였다.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$m = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

식(2)에 낙하높이를 대입하여 충격속도 5.425m/s 를 초기 조건으로 주었으며, Base 와 carrier 의 상대속도에 대한 충돌 거동을 확인하기 위해 base 하단을 지지하였고, carrier 에 중력가속도 9.81m/s<sup>2</sup> 을 적용하였다. Table 2 는 base 와 carrier 의 재질에 사용된 물성치를 나타낸 것이다.

### 3.2 낙하 충격 시뮬레이션 결과

Fig.8과 Fig.9는 각각 낙하 충격 후 base와 carrier의 응력분포를 나타낸 결과이다. 낙하 충격 시 carrier와 직접 충돌하는 4개의 stopper에서 응력이 집중되며, 특히 아래쪽에 위치한 stopper(A)들이 위쪽에 위치한 stopper(B)들보다 상대적으로 더 큰 응력이 발생됨을 알 수 있다. Stopper A와 B에 발생한 응력은 각각 429MPa과 278MPa로 stopper A에서 B에 비해 약 2.7배이상 큰 응력이 발생한다. 이러한 결과는 앞선 낙하 충격 실험과 같은 경향을 보이며 낙하 충격 시뮬레이션에 사용

된 해석모델의 타당성을 증명한다. 또한 Fig.8에서 보여지듯이 stopper와 충돌하는 carrier의 하부면에서 161MPa의 응력이 발생하며, 상대적으로 stopper에 비해 작은 값을 가지지만 응력집중으로 인한 파손 가능성이 존재한다. Fig.10은 변형량을 나타낸 그림이며, 낙하 충격에 의한 변형은 base의 stopper 주위에서 크게 발생하며, 최대 변형량은 18.6um이다.

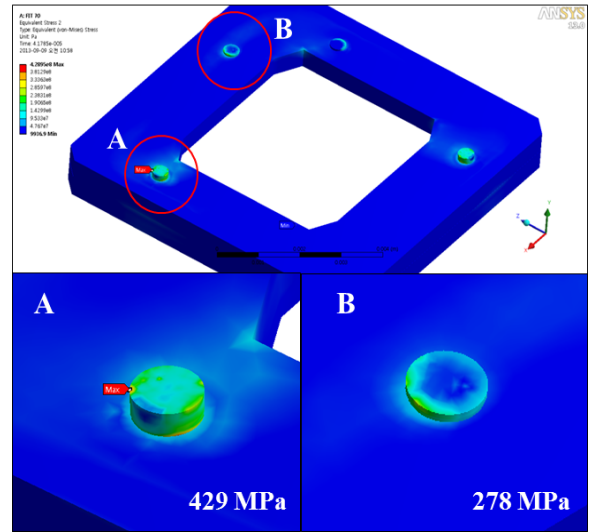


Fig. 8 Stress distribution of base (FIT-70)

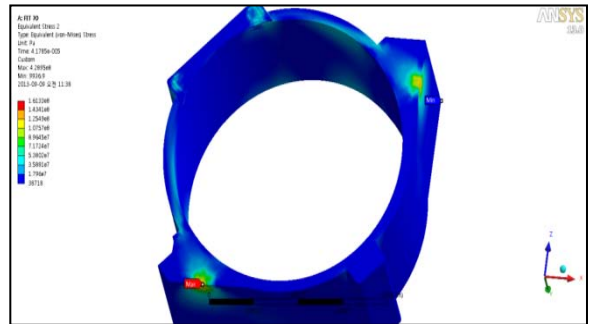


Fig. 9 Stress distribution of carrier (FIT-70)

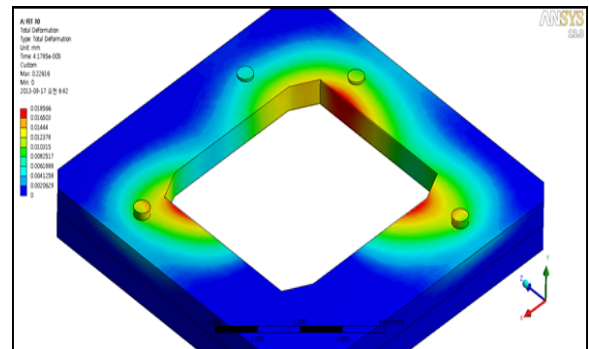
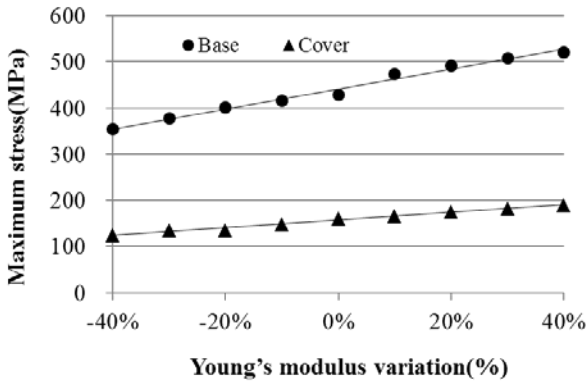


Fig. 10 Total deformation of base (FIT-70)

### 3.3 재질 선정

Fig.11은 FIT-70의 물성치를 기준으로 탄성계수를 변화시켰을 때 base와 cover에서 발생하는 최대 응력을 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이, 탄성계수가 낮을수록 base와 cover의 최대 응력이 낮아짐을 알 수 있다. 물체에 대해 외부 하중이 주어질 때, 물체가 형태를 변화하면서 흡수한 에너지를 변형 에너지라고 하는데, 이때 흡수된 에너지는 응력-변형을 곡선의 아래쪽에 위치한 면적으로 계산된다. 동일한 항복점을 가진 두 재료가 있다고 가정한다면, 탄성계수가 낮은 재료가 더 많은 에너지를 흡수할 수 있다. 결국, base와



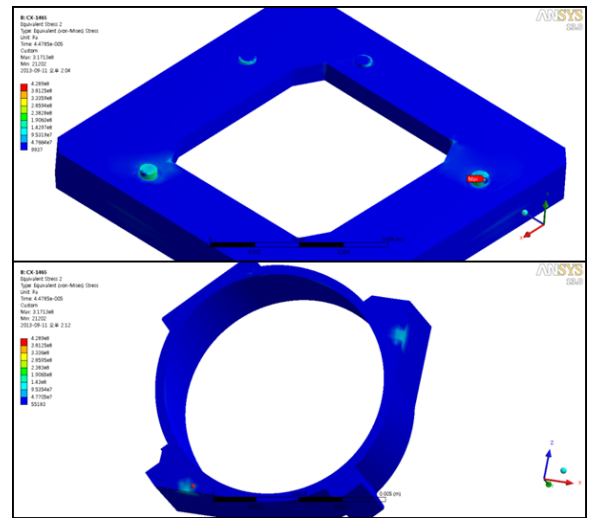
**Fig. 11** Maximum stress of base & cover as a function of young's modulus variation

carrier가 충돌하여 stopper에 충격력이 전달될 때, 탄성계수가 낮은 재료가 흡수할 수 있는 에너지가 크므로 외부 충격에 대해 유리하다.

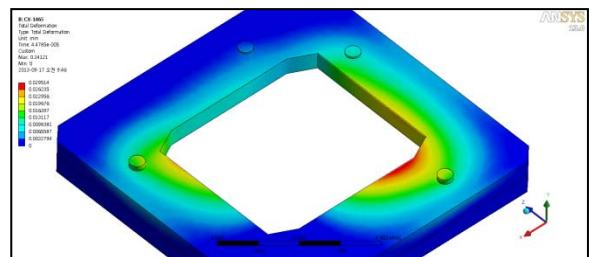
시뮬레이션 결과를 토대로 항복점은 FIT-70과 비슷하고, 탄성계수가 낮은 재료인 CX-1465를 선정하여 낙하 충격 시뮬레이션을 진행했다. 시뮬레이션에 사용된 물성치는 Table 3과 같으며, 물성치 외에 모든 경계조건은 FIT-70의 시뮬레이션 조건과 동일하게 진행했다. Fig.12과 Fig.13는 각각 CX-1465 소재로 만들어진 base와 carrier의 응력분포와 변형률을 나타낸 그림이다. 시뮬레이션 결과, 최대 응력이 발생하는 지점은 FIT-70 모델과 동일했으며, base와 carrier의 최대응력이 각각 317MPa과 121MPa로 FIT-70의 재질을 사용했을 때 보다 최대응력이 35% 가량 감소하였다. 이러한 결과는 stopper의 표면에 전달된 충격에너지가 base 내부로 흡수될 때, FIT-70에 비해 상대적으로 낮은 탄성계수를 갖는 CX-1465가 변형에너지로의 변환이 쉽기 때문에 응력집중이 개선된 것으로 판단된다..

**Table 3** Mechanical property of CX-1465

	Unit	CX-1465
Density	kg/m <sup>3</sup>	1510
Tensile Strength	MPa	121
Tensile Modulus	GPa	7.7
Poisson Ratio	-	0.45



**Fig. 12** Stress distribution of base & carrier (CX-1465)



**Fig. 13** Total deformation of base (CX-1465)

이를 뒷받침하는 결과로 두 소재에 대한 최대 변형률을 비교해 보면, FIT-70은 18.6um이고 CX-1465는 29.5um로 CX-1465가 더 큰 변형률을 가진다. 재료가 파단이 일어나지 않는 변형 내에서 재료의 변형률이 클수록 충격력을 변형에너지로 변환되는 에너지가 많아지므로 충격부위의 응력이 감소된 것이다..

### 4. 개선된 카메라 모듈의 연속 낙하 실험

시뮬레이션 결과를 통해 CX-1465 소재를 사용한 카메라모듈이 FIT-70 소재를 사용한 것에 비해 내충격 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 이에 사출 플라스틱 레진을 CX-1465로 변경하여 카메라 모



들을 제작하여, 앞선 실험과 같은 조건으로 300 회 연속 낙하를 수행했다. Fig.14 은 FIT-70 과 CX-1465 의 소재를 사용한 카메라 모듈의 300 회 연속 낙하 후 base stopper 의 사진이다. 사진에서 보이듯이 CX-1465 로 만들어진 모듈의 경우 base stopper 의 박리와 파손이 발생하지 않았으며, 액추에이터의 필터에서도 이물이 발견되지 않았다. 300 회 연속 낙하 후 stopper 표면의 파손 정도를 확인하기 위해, Fig.15 와 같이 표면 거칠기를 측정 한 하였다. 그 결과 FIT-70 과 CX-1465 의 표면거칠기(Ra)는 각각 0.561 과 0.351 로 측정되었다. Stopper 의 표면 거칠기(Ra)가 크다는 것은 낙하충격 시 충격력에 의해 발생하는 표면 파손 정도가 크다는 것으로, CX-1465 를 사용한 모듈이 FIT-70 을 사용한 모듈 보다 충격에 대해 더 안정하다는 것을 확인 할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 encoder 방식 카메라 모듈의 낙하 충격 시 발생할 수 있는 문제점에 대해 확인하고, 유한 요소 해석을 통하여 실제 낙하 실험을 모사 하였다. 낙하 충격 실험 결과와 유한 요소 해석 결과의 비교를 통해 해석 모델에 대한 신뢰성을 검증한 후, 유한 요소 해석을 통해 재료 물성 변화에 따른 충격 거동을 확인하여 카메라 모듈의 충격특성을 향상시킬 수 있는 소재를 선정했다. 유한 요소 해석을 통해 결정된 소재인 CX-1465 를 이용하여 카메라 모듈을 제작하고 낙하 충격 실험을 통해 선정된 소재로 제작된 카메라 모듈의 내충격 특성이 향상됨을 확인했다. 결론적으로, 카메라 모듈의 내충격 특성을 향상시키기 위한 소재는 항복응력이 높고 탄성계수가 낮아 재료가 파손될 때까지 흡수할 수 있는 에너지가 큰 재료가 유리한 것을 확인했으며, 이러한 연구 결과는 내충격 특성이 요구되는 부품에 대해 소재 선정에 도움이 될 것으로 기대된다.

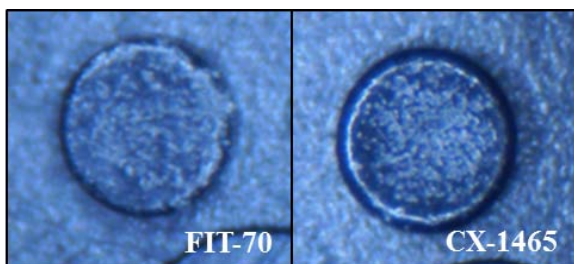


Fig. 14 Total deformation of base (CX-1465)

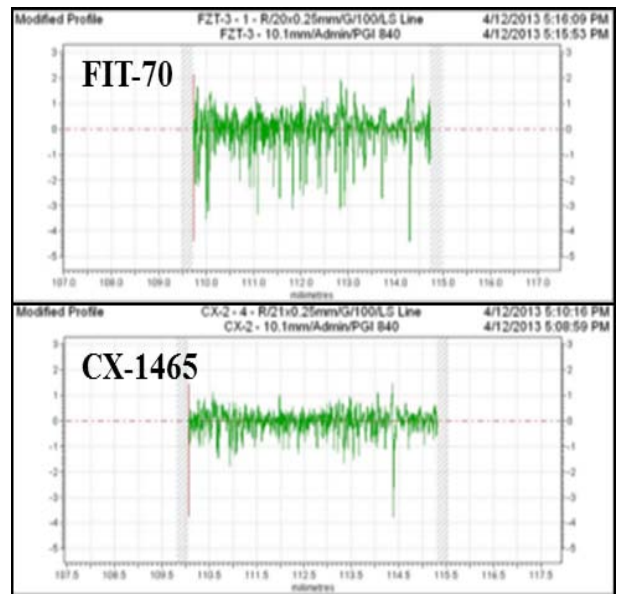


Fig. 15 Surface roughness of base stopper

### 후 기

이 논문은 산업통상자원부의 산업원천기술개발 사업으로 수행된 연구결과임. (No. 10032051)

### REFERENCES

- [1] Myung-Jin Chung, 2006, "Development of Compact auto Focus Actuator for Camera Phone by Applying New Electromagnetic Configuration", J.KSME, Vol.20, pp.2087-2093
- [2] Chien-Sheng Liu, Psang-Dain Lin, Po-Heng Lin, Shun-Sheng Ke, Yu-Hsiu Chang, and Ji-Bin Horng, "Design and Characterization of Miniature Auto-Focusing Voice Coil Motor Actuator for Cell Phone Camera Applications", IEEE Trans. Magn., Vol.45, No.1, pp.155-159
- [3] Hyun-Phill Ko, Hoseop Jeong, and Burhanettin Koc, 2009, "Piezoelectric Actuator for Mobile Auto Focus Camera Applications", J. Electroceram., Vol.23, pp.530-535
- [4] Lim, C. T., and Low, Y. J., 2002, "Investigating the Drop Impact of Portable Electronic Products", Proceedings of the 52nd Electronic Components and Technology Conference, San Diego, CA, pp. 1270-1274
- [5] Zhou, C. Y., Yu, T. X., and Lee, R. S. W., 2008, "Drop/Impact Tests and Analysis of Typical Portable Electronic Devices", J. International of Mechanical Sciences, Vol.50, No.5, pp. 905-917
- [6] Jae-Ung Cho, Byoung-Sang Min, Moon-Sik Han, 2009, "Impact Analysis According to Material of Hand Phone", J. Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.8, No.2, pp.69-79