

## 자유낙하에 의한 휴대폰의 충격 해석

강성수<sup>a\*</sup>, 김종수<sup>b</sup>, 설균호<sup>b</sup>

## Impact Analysis of Freely Falling Cellular Phone

Sung-Soo Kang<sup>a\*</sup>, Jong-Su Kim<sup>b</sup>, Gyun-Ho Seol<sup>b</sup><sup>a</sup> Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju 560-759, Republic of Korea<sup>b</sup> Dept. of Carbon Fusion Engineering, Jeonju University, Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju 560-759, Republic of Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	22 July	2013
Revised	18 November	2013
Accepted	2 December	2013

## Keywords:

Structural analysis  
Free falling  
Impact  
Tempered glass

## ABSTRACT

In this study, we carried out a structural analysis for determining the stresses acting on the tempered glass of a freely falling cellular phone using ANSYS 13.0, commercial finite element code. We designed a phone heavier than any contemporary cellular phone and performed finite element analysis using the falling speed at a height of 104 cm, which is equal to of the average leg length of Koreans. By determining the maximum stress acting on the phone's tempered glass and frame, we identified the location of large deformation. Furthermore, we evaluated the maximum/minimum equivalent stress and deformation of the reinforced glass and frame as functions of time.

## 1. 서론

2012년 현재 휴대폰 사용자의 증가로 전체 국민의 4분의 3에 해당하는 인구가 휴대폰을 사용 중이며 앞으로 더 늘어날 것으로 전망하고 있다<sup>[1]</sup>. 요즘 공중전화기를 찾기도 힘들어 휴대폰이 없으면 곤란한 상황이 오기도 하며 청소년의 경우 스마트폰이 없으면 소통이 힘들 정도이다. 또 휴대폰의 다양한 기능으로 인해, 단순히 통화만 하는 기계가 아닌 TV도 보고, 음악도 들으며 게임도 하고 걸으면서 인터넷도 즐길 수 있게 되었다. 한마디로 세상과 소통하는 하나의 문화가 된 것이다.

이러한 휴대폰 사용자의 급속한 증가에 따라 관련 기술은 나날이 빠르게 성장하고 있지만 휴대폰 사용주기는 반대로 짧아지고 있다. 이러한 휴대폰 교체의 주된 원인의 42%가 고장 및 파손이다<sup>[1]</sup>. 특히 액정은 스마트폰의 주요 부품중 하나이며 버튼을 없애고 액정으

로 터치를 하기 때문에 액정이 파손된다면 각종 정보는 전혀 사용할 수 없어 피해를 보게 된다<sup>[2,3]</sup>. 또한 터치가 제대로 되지 않아 사용에 불편함을 초래하기도 한다.

최근의 휴대폰은 소비자의 성향에 따라 점점 소형화되고 얇아지는 추세인 반면, 디스플레이는 대형화되는 경향이 있다. 얇아짐으로 인한 구조적 강성의 저하에 따라 액정 디스플레이에 대한 신뢰성 문제가 중요하게 대두되고 있는 가운데<sup>[4,5]</sup>, 휴대폰의 단말기, 디스플레이 및 충격 완화용 고무와 관련한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 먼저 휴대폰 단말기 케이스의 플라스틱, 알루미늄 및 마그네슘 재질에 따른 충격에 대한 내구성 해석에 관한 연구가 진행되었고<sup>[1]</sup>, 고속 촬영을 통한 충격 거동 비교 및 제품에 대한 신뢰성 시험 결과와의 비교를 통한 휴대폰 단말기의 최적 모델링과 충격 해석 조건에 관한 연구가 진행되었다<sup>[2]</sup>. 휴대폰 디스플레이의 낙하 충격 해석에 따른 균열 발생 가능성에 대한 설계 개선 방안도 제안

\* Corresponding author. Tel.: +82-63-220-3077

Fax: +82-63-220-2056

E-mail address: sskang@jj.ac.kr (Sung-Soo Kang).

되었으며<sup>[3]</sup>, 휴대폰의 액정 디스플레이용 충격 완화 고무의 다양한 크기에 따른 충격 흡수력을 평가하기 위해 낙추 시험과 낙하 해석을 수행하였다<sup>[4]</sup>. 또한 충격을 받는 휴대폰용 LCD 디스플레이 패널 유리판의 파괴인성치와 응력강도계수를 통한 패널의 파손을 정량적으로 예측하였다<sup>[5]</sup>. 다양한 낙하 조건에 따른 충격 실험과 충격 흡수에너지 측정에 의한 충격 흡수 성능을 평가하였고 충격 완화용 고무의 동적 전단계수를 평가하였다<sup>[6]</sup>. 나아가, 휴대폰 케이스용 박형 사출물 상용화를 위한 원재료 선정 방안 및 성형 조건을 제시하였으며<sup>[7]</sup>, 휴대폰에 내장된 카메라의 충격 특성을 해석하기 위해 더미폰 안에 삽입된 VCM (Voice coil motor)을 이용한 자동 초점 구동기를 유한요소해석을 통하여 실제 낙하 시험을 모사하였다<sup>[8-10]</sup>.

본 연구에서는 휴대폰의 액정이 일정 높이에서의 낙하 충격에 어느 정도의 충격력을 받고 변형이 되는지를 알아보고자 한다. 휴대폰이 사람의 손이나 주머니에서 떨어져서 충격을 받는 경우가 많으므로 한국의 평균 다리길이인 104 cm 높이에서 떨어졌을 때를 가정하였다. 이를 위해 ANSYS 13.0을 이용하여 스마트폰에 대한 모델링과 자유낙하에 따른 충격해석을 수행함으로써 강화유리와 알루미늄으로 된 프레임의 어느 부위가 어느 정도의 충격력을 받는지 비교해 보았다<sup>[11]</sup>. 특히, 충격에 가장 취약한 조건을 가정하여 휴대폰의 낙하 방향을 선택하였으며, 해석 결과들은 강도가 약한 부분에 대한 구조적인 보강을 통하여 강도 확보를 할 수 있도록 참고자료로 활용이 가능하다. 이를 통하여, 낙하 충격을 받는 휴대폰의 최대 응력과 최대 변형이 발생하는 위치를 특정할 수 있었고, 기존 연구<sup>[1-10]</sup>에서 다루지지 않았던 충격 후 시간의 경과에 따른 강화유리와 프레임에 대한 등가응력 및 변형의 정도를 상세히 확인할 수 있었다.

## 2. 해석 모델 및 조건

### 2.1 해석 모델

본 장에서는 스마트폰의 액정과 프레임이 받는 충격력을 해석하기 위한 모델에 대하여 기술한다. Fig. 1은 앞서 말한 휴대폰 모델의 기본구성을 나타낸 요소이며, Fig. 2는 모델의 치수를 나타냈다. Fig. 3은 모델에 대한 mesh를 나타내고 있으며, mesh는 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 사면체 요소로 사용하였다. 스마트폰의 기본적인 구성은 크게 프레임과 강화유리, 콘크리트로 구성하였다.

### 2.2 해석 조건

Table 1은 각 기본 구성 재료에 대한 물성치를 나타내고 있으며, 프레임을 구성하는 재료와 액정 재료 및 바닥 재료로서 알루미늄과 Corning사의 강화 유리 및 콘크리트를 각각 사용하였다. Fig. 4와

같이<sup>[1]</sup>, 바닥에 스마트폰이 떨어졌을 때, 강화 유리 부분이 가장 쉽게 파손되므로 낙하 충격해석을 위해, 스마트폰이 한국인의 평균 다리길이인 104 cm의 높이의 주머니에서 떨어졌을 때를 가정하였고, 중력가속도  $9.81 \text{ m/s}^2$ 을 적용하여 식 (1)에 의하여 낙하 속도  $v$ 를 구할 수 있다. 스마트폰이 콘크리트에 떨어질 때의 속도가 식 (1)을 통해 구한  $4.52 \text{ m/s}$  속도가 나온다고 가정하였다.

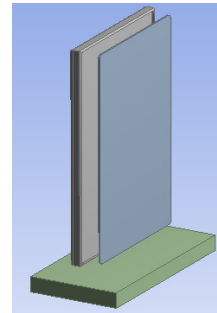


Fig. 1 Assembly configuration of model

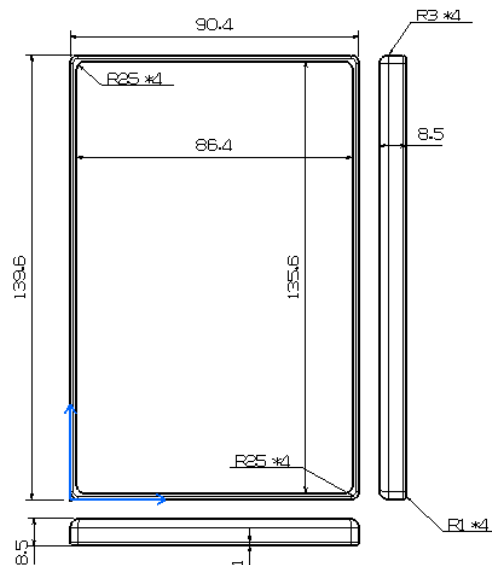


Fig. 2 Dimensions of model [mm]

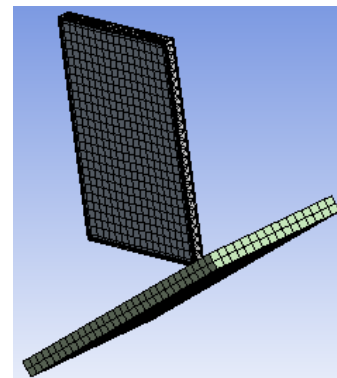


Fig. 3 Mesh generation of model

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2 \times 9.8 \times 1.04}} \approx 4.52m/s \quad (1)$$

스마트폰에 대한 구속 조건은 Fig. 5와 같이 콘크리트 전체를 고정시키고, 강화유리와 프레임이 맞닿는 부분을 완전 결합시켰다. 충돌, 관통, 파손과 같은 순간적으로 발생하는 동적 거동에 대한 비선형해석을 수행하기 위해, ANSYS의 Explicit Dynamics 기능을 활용하여 변형과 등가응력에 관한 구조해석을 수행하였다.

### 3. 해석 결과

본 장에서는 스마트폰의 낙하 충격에 따른 등가응력과 변형에 대한 해석 결과에 대하여 정리하였다. Fig. 6은 충격을 받는 순간의 강화유리와 프레임 부분을 합친 전체 모델에 대한 응력분포를 나타내고 있으며 1,109 MPa 정도의 등가응력이 발생함을 알 수 있다. 또한 Fig. 7~Fig. 11은 충격 후 0.001 sec가 경과한 상태에서의 응력분포를 나타내고 있다. 즉, Fig. 7~Fig. 9는 프레임 부분에 대한 등가응력의 결과로서 정면도, 측면도, 후면도를 나타내며, Fig. 10~Fig. 11은 강화유리 부분에 대한 등가응력의 결과로서 각각 정면도와 후면도를 나타내고 있다.

Fig. 6~Fig. 11의 결과로부터, 충격이 직접 가해지는 모서리 부분에서 가장 큰 응력을 받는 것을 알 수 있다. 즉, 프레임 부분에서는 743.7 MPa, 강화유리 부분에서 765.5 MPa의 등가응력을 받았다. 결과적으로, 충격 후 1밀리세컨드(ms)에서의 강화유리 부분이 프레임 부분보다 약 22 MPa의 등가응력을 더 받는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 시간에 따른 등가응력의 변화를 보여주는 그래프로서, 가로축과 세로축이 각각 시간과 등가응력을 나타내고 있으며, 시간에 따른 등가응력의 변화는 Table 2에 자세하게 정리하였다. 프레

Table 1 Properties of each material

Item	Aluminum	Glass	Concrete
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2,770	2,420	2,330
Young's modulus (GPa)	71	71.5	30
Poisson's ratio	0.33	0.21	0.18

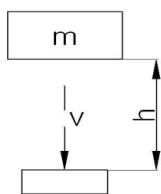


Fig. 4 Schematic diagram of drop test

임과 강화유리 부분에 발생하는 최대 등가응력이 시간에 따라 대체로 증가함을 알 수 있다.

Fig. 12와 Table 2의 결과를 보면, 강화유리 부분과 프레임 부분에 대한 등가응력의 크기는 대략 4번 정도의 변화를 보임을 알 수

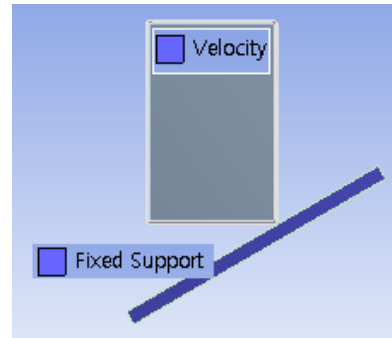


Fig. 5 Drop condition

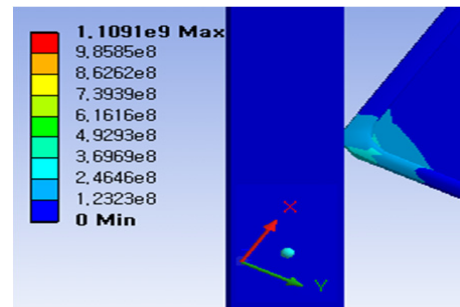


Fig. 6 Equivalent stress distribution at impact moment

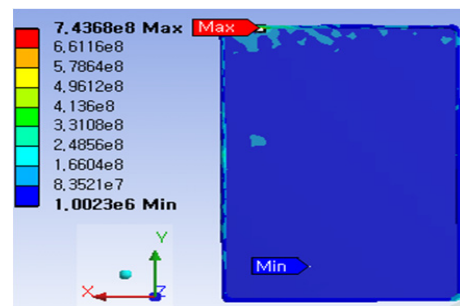


Fig. 7 Equivalent stress distribution in frame at 1 ms (front view)

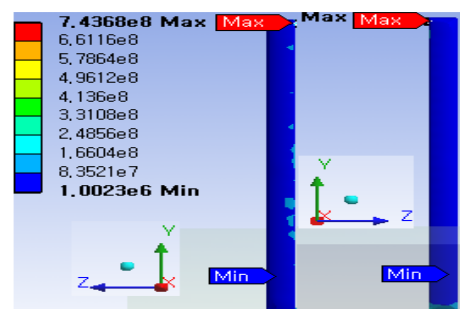


Fig. 8 Equivalent stress distribution in frame at 1 ms (side view)

있다. 먼저 초기의 0~0.05 ms 구간은 프레임 쪽이 받는 등가응력이 높고, 0.1 ms~0.8 ms 구간은 강화유리 쪽의 등가응력이 증가하여 프레임 쪽보다 높아짐을 알 수 있으며, 0.8 ms~0.95 ms 구간에서는 프레임 쪽이 다시 증가하여 강화유리 쪽보다 높아지고, 최종 구간 0.95 ms~1 ms에서 다시 강화유리 쪽의 등가응력이 상대적으로 높아짐을 알 수 있다.

또한 Fig. 13은 충격을 받는 순간의 강화유리와 프레임 부분을 합친 전체 모델에 대한 변형을 나타내고 있으며 1.85 mm 정도의 변형이 발생함을 알 수 있다. Fig. 14~Fig. 18은 충격 후 1 ms가 경과한 상태에서의 변형의 정도를 나타내고 있다. 즉, Fig. 14~Fig. 16은 프레임 부분에 대한 변형의 결과로서 정면도, 측면도, 후면도를 나타내며, Fig. 17~Fig. 18은 강화유리 부분에 대한 변

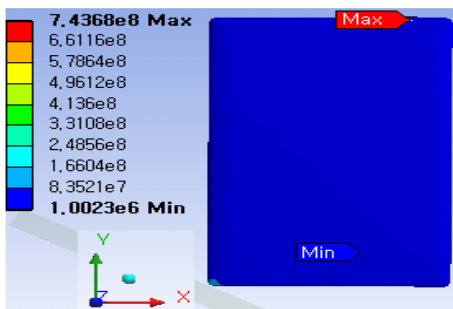


Fig. 9 Equivalent stress distribution in frame at 1 ms (back view)

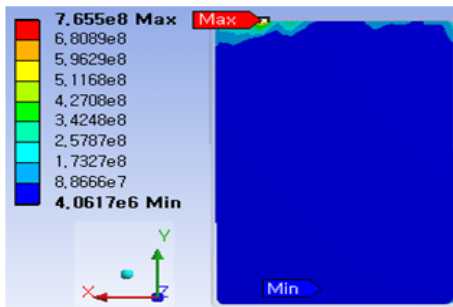


Fig. 10 Equivalent stress distribution in reinforced glass at 1 ms (front view)

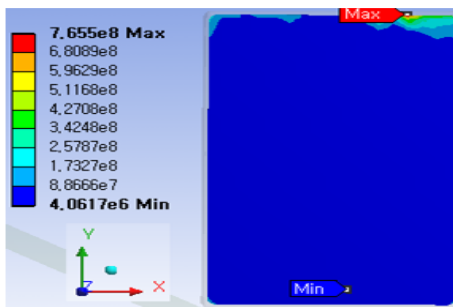


Fig. 11 Equivalent stress distribution in reinforced glass at 1 ms (back view)

형의 결과로서 각각 정면도와 후면도를 나타내고 있다.

Fig. 13~Fig. 18의 결과로부터, 충격이 직접 가해지는 모서리 부분에서 가장 큰 변형이 발생함을 알 수 있으며, 프레임 부분에서는 1.4139 mm, 강화유리 부분에서 1.323 mm의 변형을 보였다. 충격 후 1 ms 에서의 강화유리 부분이 프레임 부분보다 약 0.091 mm 정도의 변형을 더 보임을 알 수 있다.

Fig. 19는 시간에 따른 변형의 변화를 보여주는 그래프로써, 가로축과 세로축이 각각 시간과 변형을 나타내고 있으며, 시간에 따른 변형의 변화는 Table 3에 자세하게 정리하였다. 프레임과 강화

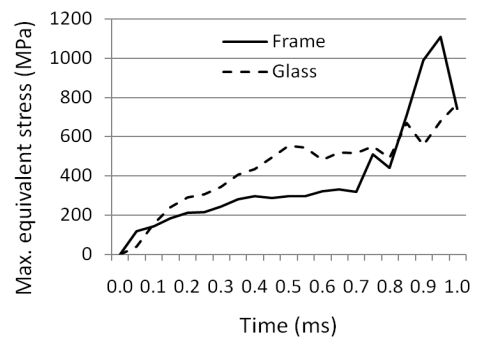


Fig. 12 Maximum equivalent stress according to time

Table 2 Maximum equivalent stress according to time [MPa]

Time (ms)	Frame	Glass	Ratio (Glass/Frame)
0.05	118.50	41.619	0.35
0.10	144.17	156.28	1.08
0.15	186.17	242.11	1.30
0.20	214.20	289.39	1.35
0.25	214.97	306.29	1.42
0.30	242.89	342.63	1.41
0.35	283.35	407.66	1.44
0.40	298.57	433.57	1.45
0.45	289.47	494.91	1.71
0.50	297.19	553.27	1.86
0.55	298.64	542.39	1.82
0.60	322.00	480.22	1.49
0.65	331.88	519.22	1.56
0.70	320.88	514.34	1.60
0.75	511.17	548.91	1.07
0.80	443.32	491.31	1.11
0.85	712.36	668.66	0.94
0.90	989.53	556.52	0.56
0.95	1109.10	677.77	0.61
1.00	743.68	765.60	1.03

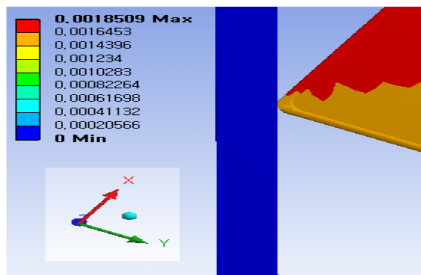


Fig. 13 Deformation at impact moment

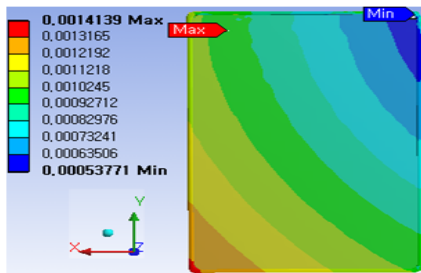


Fig. 14 Deformation in frame at 1 ms (front view)

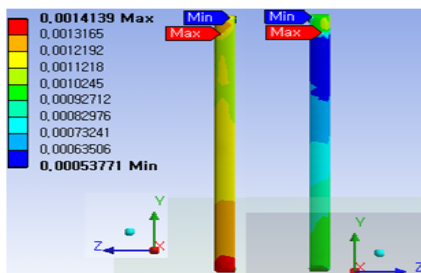


Fig. 15 Deformation in frame at 1 ms (side view)

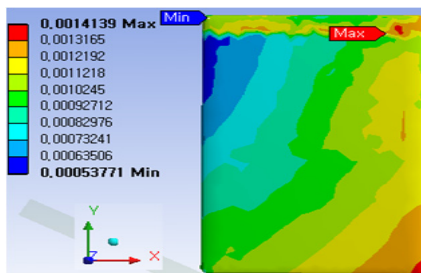


Fig. 16 Deformation in frame at 1 ms (back view)

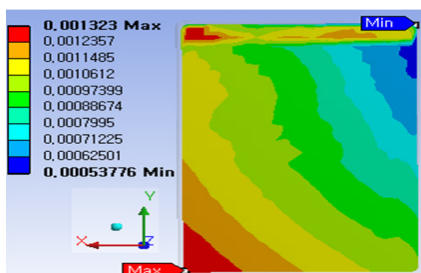


Fig. 17 Deformation in reinforced glass at 1 ms (front view)

유리 부분에 발생하는 변형이 시간에 따라 대체로 증가하다가 감소함을 알 수 있다. Fig. 19와 Table 3의 결과를 보면, 강화유리 부분과 프레임 부분에 대한 변형의 크기는 거의 비슷하나 1 ms 가까이에서 프레임의 변형이 약간 크다는 것을 알 수 있다. 먼저 0~0.45 ms 구간에서는 시간에 따라 변형이 증가하지만, 이후 0.45 ms ~ 1 ms 구간에서는 점차 감소함을 알 수 있다.

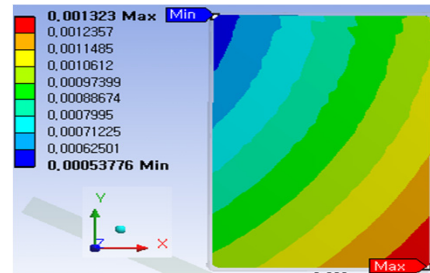


Fig. 18 Deformation in reinforced glass at 1 ms (back view)

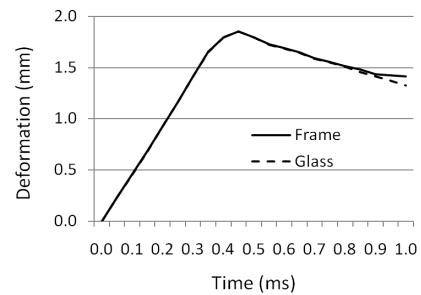


Fig. 19 Deformation according to time

Table 3 Deformation according to time [mm]

Time (ms)	Frame	Glass	Difference (Frame - Glass)
0.05	0.229	0.228	0.001
0.10	0.458	0.455	0.003
0.15	0.687	0.686	0.001
0.20	0.924	0.924	0.000
0.25	1.165	1.165	0.000
0.30	1.409	1.409	0.000
0.35	1.655	1.647	0.008
0.40	1.793	1.793	0.000
0.45	1.851	1.851	0.000
0.50	1.796	1.796	0.000
0.55	1.727	1.721	0.006
0.60	1.691	1.686	0.005
0.65	1.647	1.641	0.006
0.70	1.590	1.583	0.007
0.75	1.554	1.547	0.007
0.80	1.514	1.506	0.008
0.85	1.482	1.455	0.027
0.90	1.435	1.414	0.021
0.95	1.423	1.372	0.051
1.00	1.414	1.323	0.091

#### 4. 결론

본 연구에서는 스마트폰의 프레임과 강화유리에 따라 충격해석을 실시하여 다음과 같은 해석결과를 확인하였다.

- (1) 프레임과 강화유리에 대한 등가응력과 변형을 비교한 결과, 콘크리트에 의한 충격을 직접적으로 받은 부분인 모서리에 가장 큰 등가응력과 변형이 발생함을 확인하였다.
- (2) 프레임과 강화유리에 대한 최대등가응력을 비교해 본 결과, 각각 1109.1 MPa, 765.5 MPa의 등가응력을 보였으며 프레임 부분에서 최대등가응력이 발생함을 확인하였다.
- (3) 강화유리에 대한 등가응력은 프레임에 대한 등가응력에 비해 최대등가응력은 작았지만, 충격 직후의 시간에 따른 등가응력은 강화유리가 약 1.5배 정도 높음을 알 수 있었다.
- (4) 프레임과 강화유리에 대한 최대변형은 각각 1.85 mm 전후를 보였으며, 강화유리와 프레임이 모두 비슷한 변형을 보였음을 확인하였다.

#### References

- [1] Cho, J. U., Min, B. S., Han, M. S., 2009, Impact Analysis According to Material of Hand Phone, J. Korean Soc. Manu. Proc. Eng., 8:2 69-75.
- [2] Kim, J. G., Lee, J. Y., Lee, S. Y., 2001, Drop/Impact Simulation and Experimental Verification of MobilePhone, Trans. Korean Soc. Mech. Eng., 25:4 695-702.
- [3] Joung, J. H., Kim, H. B. R., Seong, Y. H., 2007, A Study on Strength Evaluation of LCD Glass for Drop Test, J. Korean Soc. Prec. Eng., 24:10 99-108.
- [4] Lee, B. H., Kim, K. Y., Kang, H. M., 2011, A Study on the Reducing Impacts Effect of Rubber in Mobile Display by using Drop Test and FE Analysis, Korean Soc. Mech. Eng. Fall Conference, 1277-1282.
- [5] Park, S. H., Lee, B. Y., Earmme, Y. Y., 2000, Analysis on the Fracture of a Panel Glass in a Liquid Crystal Display Module under Mechanical Shock, J. Korean Soc. Prec. Eng., 17:12 76-81.
- [6] Kang, D. H., Seo, M. Y., Gimm, H. I., Kim, T. W., 2009, Determination of Shock Absorption Performance and Shear Modulus of Rubbers by Drop Impact Test, Trans. Korean Soc. Mech. Eng., 33:4 321-328.
- [7] Kim, S. W., Heo, Y., Ha, Y. W., Park, W. K., 2007, A Research about Polymer Material and Process Condition for Slim Cell Phone, Korean Soc. Manu. Tech. Eng. Spring Conference, 727-732.
- [8] Lee, S. M., Kim, B. S., Song, J. H., Lee, S. H., Lee, H. J., Lee, M. G., Song, J. Y., Lee, C. W., 2008, Impact Analysis on Auto Focusing Actuator for Cellular Camera Phone, Korean Soc. Manu. Tech. Eng. Spring Conference, 79-85.
- [9] Sung, Y. W., Lee, M. G., Park, K.S., 2011, Residual Stress Analysis after Impact for Auto Focusing Camera Module of Portable Electronics Devices, Korean Soc. Manu. Tech. Eng. Spring Conference, 174-175.
- [10] Lee, S. M., Kim, B. S., Song, J. H., Lee, S. H., Lee, M. G., 2007, Illustrating the Drop test of the Auto Focusing Actuator for Cellular Phone using a Finite Element Analysis, Korean Soc. Mech. Eng. Fall Conference, 16-21.
- [11] Taesung Software and Engineering Inc.. 2011, Ansys Workbench Training Manual - WB Explicit STR, Taesung Software and Engineering Inc..