

완구 안전검사 기준을 적용한 강아지 로봇의 낙하 해석

정태은*(인덕대학), 김준기(SK 텔레텍), 신호철(서울대학교)

Drop Simulation of Puppy Robot by Toys Safety Standards

Tae-Eun Chung (Info-Mechatronics Dept. IIT), Jun-Gi Kim (SK Teletech), Hyo-Chol Sin (SNU)

ABSTRACT

Many impact or drop test researches of home appliances are published, but those of toys cannot be found easily. External impacts are the primary causes of fracture of toys. For impact proof design, the finished product should pass an impact test after molding design. There are several international toy safety standards or requirements such as US CPSC(Consumer Product Safety Commission), ASTM F963-96a, EN71 and so on. The puppy robot which patrols around the house, namely, the watchdog was selected to investigate toy safety because it has considerable weight and outer panels are made of plastics. First the model of watchdog robot was obtained by 3 dimensional scan. Surface data can be generated from 3D polygon data of the watchdog. A reliable drop simulation method for the watchdog was established using Pam-crash program according to Korean toy safety standards. When there is a low impact allowance value, the molding design should be reinforced or changed. It was found that the maximum impact stress reaches the ultimate stress of panel material.

Key Words : Drop simulation (낙하 해석), Puppy robot (강아지 로봇), Watchdog robot(감시 로봇), Toys (완구), Safety standards (안전기준), 3D Scan (3 차원 스캔)

1. 서론

전자제품이 소형화 되는 과정에서 휴대용 통신기 기나 노트북 등에 대해 제품 자체가 낙하하여 충격 및 파손되는 경우가 자주 발생하게 되었다. 이에 따라 휴대용 단말기나 광 디스크 드라이브 제품에 대해 낙하, 충격 해석이 수행되었다.^{[1][2]} 반면에 완구 제품의 경우에는 사용 중 떨어져서 외관이 깨질 경우에 파편이 발생하여 유아나 어린이에게 해를 끼칠 가능성이 있으므로 이에 대해 여러 나라에서 해당 국가별로 안전기준을 정하고 있다. 완구에 대해서는 주로 소비자보호원을 중심으로 실태 조사 등이 이루어지고 있으나,^[3] 공학적인 접근에 의한 연구 사례는 찾아보기 힘든 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 애원용 및 인터넷 보안감시 기능을 갖춘 강아지 형상의 감시 로봇(watchdog robot)을 대상으로 완구에 관한 안전검사 기준을 적용한 낙하 해석을 수행하였다. 우리나라의 기술표준원에서 고시한 안전검사 기준에서는 4 mm 두께의 수평 강철 판 위에 850 mm ± 50 mm 높이에서 완구를 낙하 시

켜서 낙하 후 완구의 외관이 찢어졌거나 깨졌는지를 조사하도록 되어 있다.

해석 대상이 되는 watchdog 모델은 다중 디지털 사진 촬영을 이용한 3 차원 스캔 기법을 이용하여 외관에 대한 15000 개의 점 데이터를 얻어서 구하였다.^[4] 스캔 데이터로부터 표면(surface)을 생성한 후, 표면에 대해 유한요소를 생성하여 낙하 해석을 하기 위한 해석 모델을 생성하였다. 낙하 충격 해석을 위한 모델링은 충격에너지가 전달되는 경로상에 있는 모든 부품이 고려되어야 한다. 따라서 제품의 전, 후, 좌, 우, 위, 아래의 6 방향으로 자유 낙하를 시킨다는 조건에서 낙하 해석을 하였다.

낙하 시험의 컴퓨터 시뮬레이션은 충돌해석 프로그램인 Pam-crash 소프트웨어를 사용하였다. 낙하 충격 시 위치에너지가 운동에너지로 바뀌어 제품이 바닥에 닿는 순간에는 변형에너지로 변환된다. 강아지 로봇의 외관 재질은 ABS 수지이며, 재질의 최대 인장응력과 낙하 충격 시 발생하는 최대 응력을 비교하여 파단 여부를 판별하였다

2. 이미지 스캐너에 의한 데이터 생성

2.1.3 차원 형상 재구성

실제 물체로부터 3 차원 이미지를 만들어 내는 3 차원 형상 재구성(3D shape reconstruction) 기법들은 최근에 그 필요성이 부각되면서 많은 발전이 이루어졌다. CAD 데이터가 없는 모델에 대해서는 이러한 3 차원 형상 재구성에 의해 이미지 및 치수 데이터를 생성할 수 있다. 본 연구에서는 독일 Scanbull GmbH 의 3 차원 이미지 스캐너 장비인 3D scantable 장비와 scanware 3.0 소프트웨어를 이용하였다. Fig.1 에는 애완용으로도 사용하기 위해 강아지 형상을 한, 인터넷 보안 감시 로봇인 watchdog 의 실물 사진이 나와있다. 디지털 카메라로 촬영한 다중 사진을 이용하여 3 차원 치수 데이터를 얻어 내고 질감(texture)를 표현하여 Fig.2 에서와 같은 3 차원 이미지를 구축하였다.

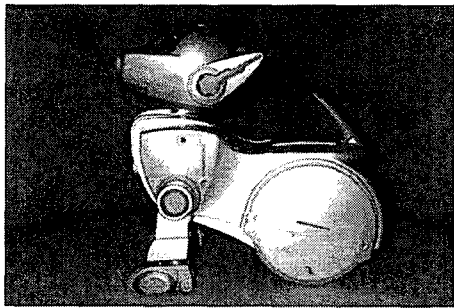


Fig. 1 Photograph of puppy robot

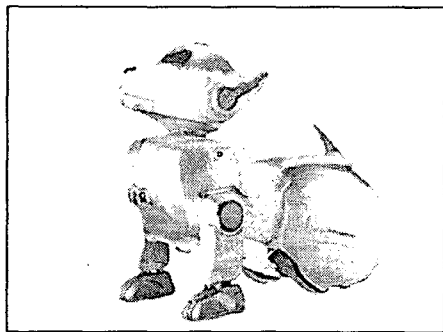


Fig. 2 3 dimensional image of watchdog

2.2 역 설계를 위한 데이터 생성

역 설계(reverse engineering)를 하기 위해 이미지 모델로부터 dxf 파일 형태로 이루어진 autocad 용 파일을 생성하게 되는데, Scanbull GmbH 의 Marlin 소프트웨어를 사용하여 이러한 작업을 수행하였다. Fig.3 에는 dxf 파일 형태로 변환된 watch 모델이 나와있다. 이 모델은 15000 개의 점들(vertices)과 30000 개의 면들(faces)로 이루어져 있으며, 면적과

부피 정보가 포함되어 있다. 유한요소해석을 위해서는 해당 모델의 면(surface)에 대한 데이터가 있어야 한다. Fig.4 에는 881 개의 면으로 이루어진 모델이 나와있다. 면 데이터로부터 자동으로 10 mm 크기의 삼각형 유한요소를 생성하였으며, Fig.5 에는 5128 개의 유한요소로 이루어진 모델을 보여주고 있다.

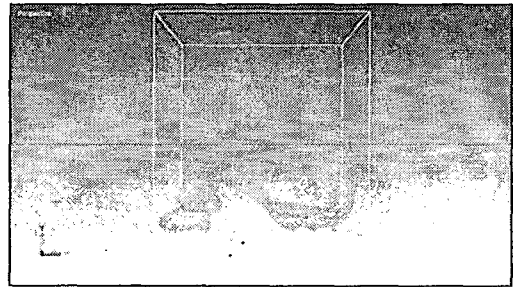


Fig. 3 Dxf file of watchdog



Fig. 4 Generated surface data of watchdog

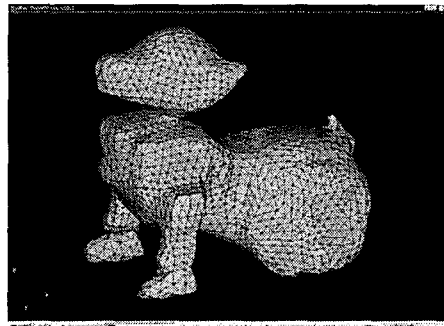


Fig. 5 Meshed data of watchdog

3. 낙하 해석

3.1 안전검사 기준

세계 각국에서는 완구의 안전과 관련한 기계적 시험에 대해 연령별로 상세한 기준을 정하고 있다. Table 1 에는 미국, 영국, 독일, 프랑스 등의 완구 관련 규정 조항이 명시되어 있다. 우리나라에서는 기술표준원에서 완구에 대한 안전검사 기준을 고시하

고 있다. ‘품질경영 및 공산품 안전 관리법 제 11 조’에 명시되어 있는 안전검사 기준 중 완구(Toys)에 관한 안전검사 부속서 20 에서는 쇼아 A 경도 75±5 이면서 4 mm 두께의 수평 강철판 위에 850 mm ± 50 mm 높이에서 완구를 가장 심한 충격을 받는 곳으로 향하여 낙하 시켜서 낙하 후 완구의 외관이 찢어졌거나 깨졌는지를 조사한다.¹³⁾ 대상이 되는 watchdog 의 낙하, 충격 실험에서는 제품의 외장 재질이 ABS 수지임을 감안하여 완구에 대한 안전검사기준을 적용하였다. Table 2 에는 해석에 적용한 ABS 수지의 물성값이 나와있다. Table 3 에는 바닥면의 재질에 대한 물성값이 나와있다.

Table 1 International toy safety standards

Nation	Safety standards
USA	CPSC & ASTM F963-96a
UK	BS EN71 Part 1
Germany	DIN EN71 Part 1
France	NF EN71 Part 1
Europe	EN71 Part 1
Canada	Hazardous products (Toys)Regulations C.931

Table 2 Material properties of ABS (panel)

Item	Values
Young's Modulus, E	2.4 kN/mm ²
Poisson's Ratio, ν	0.3
Material Density, ρ	1.05e-6 kg/mm ³
Yield Stress, σ _y	0.0415 kN/mm ²
Ultimate Stress, σ _{ul}	0.042 kN/mm ²
Thickness	3 mm

Table 3 Material properties of steel (floor part)

Item	Values
Young's Modulus, E	210 kN/mm ²
Poisson's Ratio, ν	0.3
Material Density, ρ	7.82e-6 kg/mm ³
Yield Stress, σ _y	0.183 kN/mm ²
Thickness	3 mm

3.2 낙하 해석의 과정

낙하 해석을 위한 설정은 충격에너지가 전달되는 경로 상에 있는 모든 부품이 고려되어야 한다. 즉 제품이 어느 방향으로 떨어질지 예측할 수 없으므로 해석도 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 모든 방향

을 대상으로 실시하였다. 실험에서 완구에 대한 안전 규정을 적용하여 0.85 m 높이에서 변형이 발생하지 않는 딱딱한 면으로 6 방향 즉 제품의 전 방향으로 자유 낙하 시킨다는 조건 하에서 해석을 실시하였다. 낙하 해석을 위해 충돌 해석 전용의 Pam-crash 프로그램을 사용하였다.

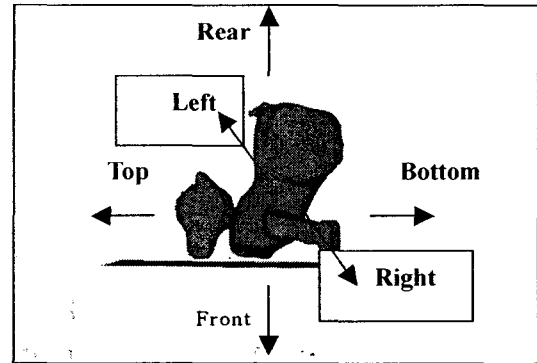


Fig. 6 Analysis direction of puppy robot

그 결과 가장 응력이 많이 걸리는 방향이 제품의 정면 방향으로 낙하시키는 경우라는 것을 찾아내었다. 따라서 보강에 대한 최적화는 정면 방향의 낙하, 충격 시험을 근거로 실시하였다. 강아지 로봇이 자유 낙하할 때 바닥 면에 닿기 직전의 속도는 식 (1)을 이용하여 계산한 결과 4.085 m/sec 가 계산되었다.

$$V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.815 \times 0.85} = 4.085 \text{ m/sec} \quad (1)$$

여기에서 g는 중력가속도, h는 낙하 높이이다.

Fig.7 에는 Fig.6 의 정면 방향으로 낙하하였을 때 강아지 로봇의 응력 분포를 나타내고 있다. Fig.7 에서 볼 수 있듯이 지면에 가장 먼저 닿게 되는 가슴 부위에서 최대 응력이 발생함을 알 수 있다. Fig.8 에는 같은 결과를 측면에서 바라본 모습을 나타내었다. Fig.9 에는 최대 응력이 발생하는 부위의 응력 값을 시간 변화에 따라 나타낸 그래프가 나와 있다. 지면과 가슴 부위가 부딪히는 순간에 최대 응력이 0.04204 GPa로 외부 패널의 재질인 ABS 수지의 최대 인장 응력 0.042 GPa 의 값에 도달한 것을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 기준 높이에서 제품이 낙하하였을 때 외장 패널의 파단이 발생할 가능성이 높은 것으로 판명되었다. 충격에 의한 재료의 파단 여부를 판별하는 기준은 최대 응력 측면과 최대 변형률(strain) 측면에서 각각 살펴볼 수 있을 것이다.

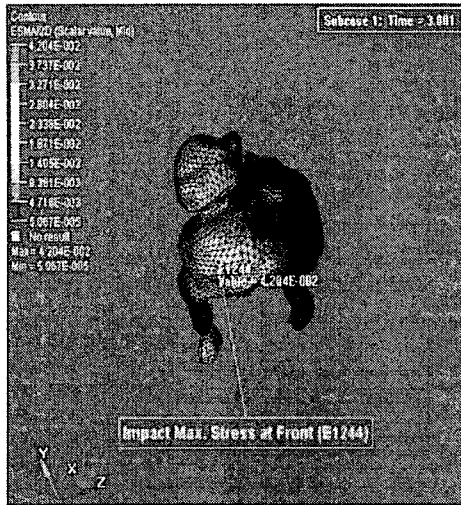


Fig. 7 Stress distribution – isotropic view



Fig. 8 Stress distribution – side view

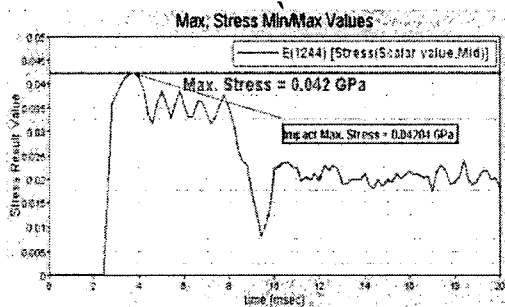


Fig. 9 Maximum stress distribution on watchdog body

낙하, 충격 시 위치에너지가 운동에너지로 바뀌어 제품이 바닥에 닿는 순간에 충격에너지 즉, 변형에너지로 변환된다. Fig.10 에는 시간 변화에 따른 운동 에너지와 내부 변형 에너지의 변화 그래프가 나와 있다. Fig.10 의 그래프 상에서도 알 수 있듯이 운동에너지는 점차 감소하여 5 msec 부근의 정점에서 최소가 된 뒤에 다시 증가한다. 내부에너지는 역으로 점차 증가하다가 5 msec 부근의 정점에서 다시 감소한다. 에너지 보존 법칙에 의해 운동에너지와 내부에너지의 합은 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

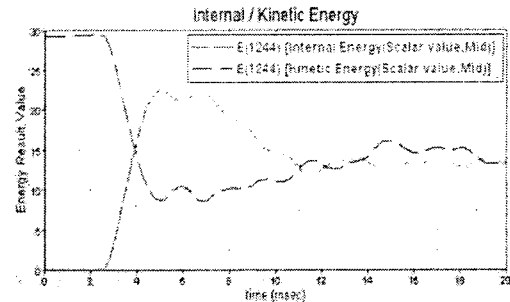


Fig. 10 Energy distribution over time in drop simulation

4. 결론

완구에 대한 낙하 시험의 목적은 유아들이 파손된 완구의 케이스의 깨어진 조각을 삼켜 질식하거나 파손된 부분의 날카로운 균열부분에 의해 유아들이 상해를 입을 위험이 있는 여부를 알아보기 위함이다. 최근에는 애완용 또는 보안용으로 강아지형상의 로봇이 만들어져 가정에도 보급되고 있다. 완구의 경우에는 일반 가전제품이나 정보기기와는 달리 낙하, 충격 시 내장재의 파손 보다는 외부 케이스의 파단 여부가 관심사이다. 본 연구의 대상인 watchdog 로봇의 경우에는 완구 안전검사 기준에 따라 낙하 시뮬레이션을 수행하여, 전면으로 낙하하였을 때 가슴 부위의 케이스가 가장 취약한 부위이며 파단 될 가능성이 있는 것으로 판별되었다. 따라서 이 부위에 고무 등의 완충재가 추가적으로 부착하거나 모델에 대한 변경을 하여야 할 것이다. 아울러 실제의 낙하 시험을 수행하여 시뮬레이션과 비교하는 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 김진곤, 이준영, 이신영, “휴대용 단말기의 낙하 충격해석 및 실험적 검증,” 대한기계학회논문집 A 권, 제 25 권, 제 4 호, pp. 695-702, 2001.
2. 황호균, 김남용, 이동호, 이진우, 김외열, “광 디스크 드라이브의 P/U 낙하 추돌 거동,” 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 958-961, 2002.
3. 소비자안전국, “유아용 완구의 안전성 실태조사,” 한국소비자보호원, 2000.
4. 정태은, 석정민, 신희철, 류재평, “다중 디지털 사진을 이용한 3 차원 이미지 모델 생성,” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1634-1637, 2003.
5. 기술표준원, “품질경영 및 공산품 안전 관리법 제 11 조, 안전검사기준(완구) 부속서 20”, 2001.