

# 에어백을 이용한 신체충격완화장치

박지수<sup>+</sup>, 김충현\*

(Manuscript received: Jun, 18, 2012 / Revised: Jul, 2, 2012 / Accepted: Jul, 23, 2012)

## Hip Protector against the Impact by Fall Using Air-bag

Ji Soo Park<sup>+</sup>, Choong Hyun Kim\*

### Abstract

The hip protector has been developed using the air-bag which has the capability of attenuating an impact. The impact force using the PVC air-bag was decreased by values of 27.5% on average, compared to the impact force without the air-bag. In the experiment, the standard deviation of the impact force attenuation rate was 0.78%. It means that the dimensions of the air-bag have no significant effects to reduce the impact. We believe that it is possible to design light and cheap hip protectors with air-bag to prevent the femur fracture.

**Key Words** : Hip protector(엉덩이 보호대), Air-bag(에어백), Impact force(충격력), Attenuation(완화), Femur fracture(대퇴골 골절)

## 1. 서론

통계청 발표 자료에 의하면 2010년 11월 대한민국의 65세 이상 고령노인 인구는 542만5천명으로서 전체 인구의 11.3%를 차지했으며 2018년에는 14.3%의 고령사회로 진입한다고 예측하였다. 이 경우 고령노인들의 사고로 인한 의료비 증가, 노동력 손실 등이 사회적 난제로 대두되므로 그 해결책 마련이 절실히 요구되고 있다.

고령노인들이 겪는 사고 중에서 대표적인 것이 낙상이다. 특히 대퇴골 골절의 90%는 낙상사고로 인해 발생하며 고령노인의 경우 신체특성상 치유가 어렵고 심한 경우에는 합병증으로 인하여 사망에 이를 정도로 치명적이다<sup>(1)</sup>.

낙상에 의한 대퇴골 골절 사고는 엉덩이 보호대(hip protector)를 착용함으로써 발생률을 감소시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다<sup>(2~4)</sup>.

Laing 등은 시판 중인 26가지 엉덩이보호대에 대하여 세 가지 낙하속도를 적용한 시험을 실시하고 보호대의 제원(폭과 두

께)과 재질에 따른 충격력완화 효과를 비교하여 소비자가 보호대를 선정할 때 참고할 수 있는 자료를 제공하였다<sup>(3)</sup>.

Choi 등은 시판 중인 고분자재료의 엉덩이보호대 세 가지에 대하여 충격완화 메커니즘과 보호대 위치에 따른 충격완화효과, 특히 대퇴골 경부(femoral neck)에 미치는 충격량의 변화를 살펴봄으로써 보호대의 위치가 충격완화에 중요한 역할을 하고 있음을 밝혔다<sup>(4)</sup>.

국내의 경우 전북대 연구팀에서는 동작분석시스템을 이용하여 낙상시 신체 주요부위의 거동을 분석하고 충격량을 예측시 물레이션을 실시함과 동시에 낙상시 발생하는 가속도를 측정함과 동시에 골절방지시스템을 고안한 바 있다<sup>(5)</sup>.

한편 KIST와 건국대는 공동연구를 통하여 고령노인의 낙상시 충격량을 측정하고 기립여부를 판단할 수 있는 시스템을 개발하였다<sup>(6)</sup>.

기존의 고분자물질로 제작되는 두꺼운 패드형태의 엉덩이 보호대는 그 효과는 어느 정도 입증된 바 있으나 장시간 사용할

+ 홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

\* 교신저자, 한국과학기술연구원 바이오닉스연구단 (chkim@kist.re.kr)

주소: 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1

경우 땀 배출이 원활하지 않을 뿐만 아니라 이물감을 느끼는 등 착용감이 뒤떨어져서 고령노인들이 사용을 꺼리고 있는 실정이다<sup>(2)</sup>.

이에 저자 등은 착용감이 우수한 경량의 에어백을 적용한 신체충격완화장치를 개발하기 위한 연구를 진행하여 특허를 출원한 바 있다<sup>(7)</sup>. 이 특허는 바지에 덧대거나 별도로 착용하는 방식의 에어백과 낙상센서로 구성된 신체충격완화장치에 관한 것으로서 센서가 낙상을 감지할 경우 에어백에 공기를 공급하여 낙상시 신체에 미치는 충격량을 줄이도록 고안되었다.

본 연구에서는 상기 특허의 구현가능성을 파악하기 위해서 PVC(polyvinyl chloride)로 제작한 에어백에 대한 낙상시험을 통하여 신체충격완화성능을 고찰하여 보았다.

## 2. 실험

### 2.1 PVC air-bag 제작

본 시험연구에서 사용된 신체충격완화장치(이하 에어백)는 Fig. 1과 같은 원형으로 제작하였으며 제원은 Table 1과 같다.

에어백은 PVC 시트 2장을 원형으로 자른 후 겹쳐 놓고 그 사이에 원형의 셀로판지를 끼운 후 히트프레스 위에 놓고서 150℃에서 60초 동안 약 2bar의 압력으로 눌러 주어 PVC 시트가 서로 눌러 붙음으로써 접착이 이루어지도록 제작하였다.

PVC 가공에는 320℃ 까지 가열할 수 있는 히트프레스(heat

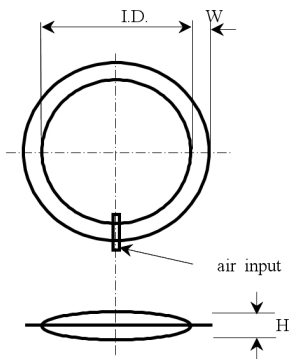


Fig. 1 Schematic of the air-bag

Table 1 Specifications of the air-bag

Item	Values	
Materials	PVC	
Thickness(mm)	0.5	
Air pressure(bar, gauge)	2	
Size (mm)	Inner diameter(I.D.)	160 / 170 / 180
	Height(H)	70 / 80 / 90
	Adhesion width(W)	10

press)를 이용하였다. PVC 시트 사이에 셀로판지를 삽입하는 이유는 PVC 시트 중앙부가 서로 눌러 붙는 것을 막아 공기를 담을 수 있는 공간을 확보하기 위해서이다.

접착부 폭(adhesion width)은 10mm로 제작하였고 접착부를 가로질러 위치하는 공기주입구(air input)를 만들기 위해서 폭 8mm의 셀로판지를 삽입하여 해당부위의 PVC 시트가 서로 눌러 붙지 않도록 하였다. 공기주입구는 낙상시 에어백 내부의 공기가 외부로 배출되도록 하여 2차 충격을 감소시키는 역할도 담당한다.

에어백의 크기는 골반측면의 대퇴골 부위를 가려줄 수 있는 크기로 선정하였다.

### 2.2 시험장치

Fig. 2는 본 시험에 사용한 낙상시험 장치를 보여주고 있으며 이는 Simon Fraser University의 모의 충격시험장치를 원용하여 제작된 것이다<sup>(3)</sup>.

낙상시험장치는 바닥에 고정된 지지대, 지지대 중간에 위치한 힌지(hinge), 힌지에 연결되어 회전하는 막대, 막대 끝에 위치하는 질량부(pendulum head), 여기에 고정되는 판스프링(leaf spring), 가상 대퇴골(simulated proximal femur)과 가상 골반모형으로 구성된다.

여기에서 판스프링, 가상 대퇴골과 가상 골반모형은 인체에서 충격을 흡수, 분산시키는 대퇴골, 근육, 그리고 인체 조직을 모사한 것이다.

가상 대퇴골의 형상과 크기는 낙상에 취약한 여성의 실제 대퇴골과 동일하게 제작하였다.

가상골반의 외형은 여성의 골반 모델을 이용하여 음각 석고틀을 제작한 뒤, 이 석고 틀 안에 액상 실리콘과 경화제를 넣고 상온에서 8시간 동안 굳혀 제작하였다. 가상 골반을 구성하는 실리콘은 인체조직과 물성이 매우 흡사하기 때문에 인체 모형 제작에 많이 사용된다.

제작된 낙상시험장치의 유효 하중은 30kg이며 이 유효하중은 낙상 사고 발생시 실제 골반에 충격을 가하는 인체의 질량을 반영한 값이다.

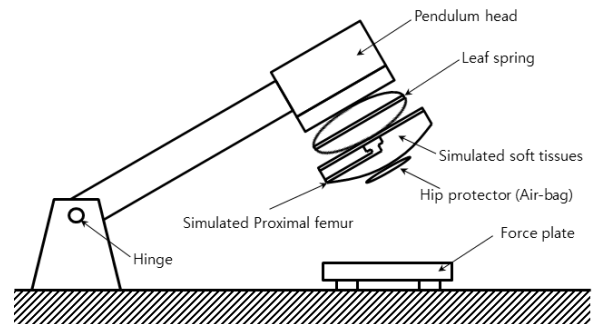


Fig. 2 Developed hip impact simulator

### 2.3 낙상시험

에어백은 가상골반의 표면에 양면접착 테잎을 이용하여 붙이 되 에어백 중심의 위치가 가상대퇴골의 머리부 중심과 일치하도록 하였다.

에어백의 낙하거리(drop distance)는 에어백 표면부터 바닥 까지의 거리로서 50, 100, 150mm의 세 가지로 나누었다. 또한 Table 1과 Table 2에 각각 나타낸 에어백의 안지름 세 가지와 낙하 높이에 세 가지를 조합하여 총 27가지의 시험을 진행되 한 종류의 시험조합에 대하여 각각 7회씩 시험을 실시하고 평균을 구하였다.

시험은 진자 질량부를 전자석으로 당겨 올린 후 소정의 높이에 도달하였을 때 전자석에 공급되는 전기공급을 차단하여 진자를 낙하시키고 에어백과 충돌하게 함으로써 낙상을 모사할 수 있도록 하였다.

낙하시 발생하는 충격하중은 바닥에 설치한 하중센서(force plate)를 이용하여 계측하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 신체충격완화 비율

에어백을 이용한 충격하중 시험결과를 Table 3에 나타내고 이를 Fig. 3에 도시하였다.

Fig. 3에서 에어백이 없는 경우에는 낙하거리가 50mm에서 100mm, 150mm 로 늘어남에 따라 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

낙하거리가 50mm인 경우, 에어백의 안지름(inner diameter)과 높이(height)를 종합하여 볼 때 에어백이 없을 때 보다 에어백이 있는 경우 충격하중이 평균 27.5% 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2 Specifications of the simulator

Item	Values
Type	Pendulum
Spring constant of the leaf spring(kN/m)	74
Mass, effective(kg)	30
Drop distance(mm)	50 / 100 / 150

낙하거리가 100mm와 150mm인 경우에는 에어백을 장착한 경우가 에어백이 없는 경우에 비하여 각각 27.6%, 27.4% 감소하였다.

에어백의 안지름을 기준으로 충격하중 감소효과를 살펴보면 안지름이 160mm, 170mm, 그리고 180mm 인 경우에는 에어백이 없는 경우에 비하여 각각 평균 27.1%, 27.7% 그리고 27.7%로 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 에어백 안지름이 동일할 때 낙하높이에 따른 충격하중감소비율 사이의 편차는 안지름이 160, 170, 그리고 180mm인 경우 각각 0.4%, 1.3%, 그리고 0.6%로서 안지름이 160mm인 경우 충격완화비율이 가장 일정한 것으로 나타났다.

에어백의 안지름과 낙하거리를 모두 감안하였을 때 충격하중 감소비율은 최소 26.8%에서 최대 28.1% 사이에 있었다. 또한 그 표준편차는 0.78% 로서 에어백 종류와 낙하거리에 대하여 비교적 고른 충격완화효과를 보인 것으로 나타났다.

전체적으로 볼 때 에어백을 장착한 경우에는 에어백이 없는 경우에 비하여 충격하중이 평균 27.5% 감소하는 것으로 나타났다.

여성의 대퇴골이 파손되는 하중값은 3,100N으로 알려져 있다<sup>(3)</sup>. 따라서 본 에어백을 착용한 경우에는 4,200N의 외부 충격이 대퇴골에 가해져도 파손을 막을 수 있을 것으로 예상된다.

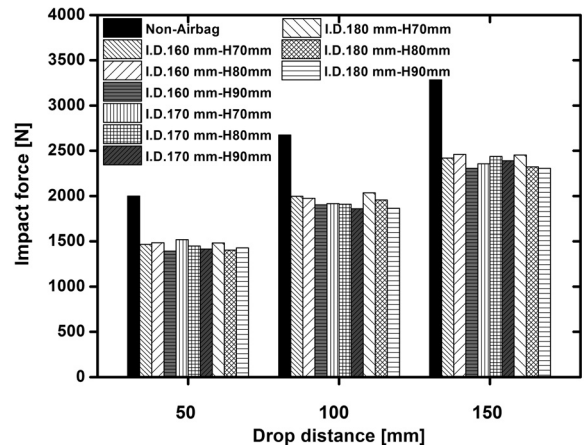


Fig. 3 Schematic of the airbag

Table 3 Specifications of the simulator

Drop distance(mm)	Air-bag dimensions									
	Non-air-bag	Inner dia. 160mm			Inner dia. 170mm			Inner dia. 180mm		
		Height 70mm	Height 80mm	Height 90mm	Height 70mm	Height 80mm	Height 90mm	Height 70mm	Height 80mm	Height 90mm
50	1999.3	1467.3	1486	1393.1	1519.2	1449.3	1414.9	1481.8	1403.1	1429.3
100	2673.5	1996.1	1974.1	1902.1	1914.3	1908.7	1859	2035.7	1956.4	1863.5
150	3283.5	2417.9	2460.2	2306.8	2356.2	2437.4	2390	2453.3	2321.6	2306.4

### 3.2 에어백 안지름에 따른 충격하중값의 변화

Fig 4는 에어백 안지름에 따른 충격하중의 변화를 살펴본 것이다.

에어백 안지름이 160mm인 Fig. 4 (a)를 보면 낙하거리가 50mm인 경우에는 충격하중값이 1,500N 미만이던 것이 낙하높이가 100mm, 150mm로 늘어남에 따라 각각 1,950N과 2,400N으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 에어백 높이가 90mm일 때 충격하중값이 모든 낙하높이에 걸쳐서 제일 낮게 나타났다. 이것은 에어백 높이가 높아서 진자질량부가 에어백과 접촉을 시작한 후 지면에 닿기 전까지 긴 시간동안 충격을 흡수할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다.

에어백 안지름이 170mm인 Fig. 4 (b)를 보면 낙하거리가 50mm, 100mm 그리고 150mm로 변화함에 따라 충격하중이 각각 1,500N, 1,900N, 그리고 2,500N 정도로 거의 선형적인 증가를 보였다. 안지름이 170mm인 에어백은 높이가 70mm인 경우 낙하거리 150mm에서 다른 높이의 에어백보다 낮은 하중값을 가지는 것으로 나타났다.

에어백 안지름이 180mm인 Fig. 4 (c)를 보면 낙하거리가 50mm인 경우에는 충격하중값이 1,500N 내외로서 안지름 170mm인 경우와 비슷하였으나 낙하높이가 100mm로 증가하면 2,000N 이상이 되면서 안지름이 170mm인 경우보다 120N 이상 크게 나타났다. 낙하높이가 150mm인 경우에는 충격하중이 2,453N까지 증가함으로써 안지름이 170mm인 경우보다 비슷하거나 다소 크게 나타났다.

또한 에어백 안지름이 180mm, 에어백 높이가 70mm인 경우에는 에어백의 안지름과 높이가 각각 170mm, 70mm인 경우보다 충격하중값이 100N 이상 큰 것으로 나타났다. 즉, Table 3을 보면 안지름이 180mm인 에어백이 170mm짜리 에어백보다 큰 충격하중을 보이는 역전현상은 낙하거리가 100mm인 경우 모든 시험에서 나타나는 것을 알 수 있다.

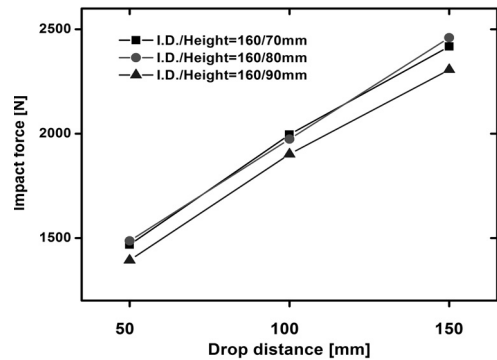
이러한 역전현상은 에어백 지름의 크기에 비하여 그 높이가 충분하지 않기 때문으로 판단된다. 즉, 에어백은 진자가 닿은 후 공기를 밀어내는 과정에서 충격을 흡수하게 되는데 위의 조건에서는 에어백이 충분하게 부풀지 못하여 진자질량부가 바닥에 가까운 위치에서 접촉을 이루면서 충격을 미처 다 흡수하지 못한 것으로 사료된다.

또한 Fig. 4 (a), (b) 그리고 (c)를 종합해 보면 에어백 안지름이 170mm인 경우에는 에어백 높이가 달라도 각각의 낙하거리에서 비교적 고른 충격하중값을 보이는 것으로 판단된다.

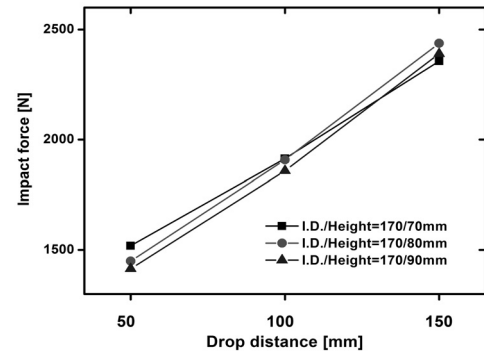
에어백 안지름에 따른 충격하중값 평균을 구해보면 Fig. 5와 같다. Fig. 5를 보면 동일한 낙하거리에서 충격하중의 평균값은 최대 1.85%의 차이를 보였다.

이러한 시험결과와 시험에 사용된 에어백 모두 비교적 고른 충격완화 성능을 보인다는 것을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

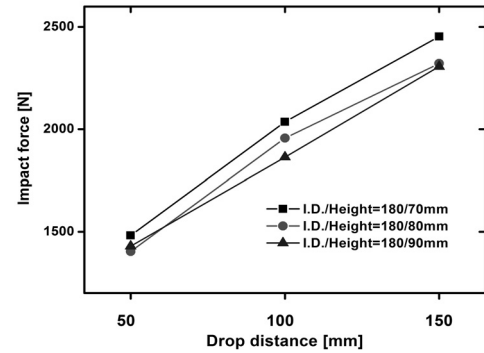
이와 같이 충격완화성능이 서로 유사한 것은 시험에 사용된 에어백의 안지름과 높이의 차이가 충분히 크지 않아서 발생한



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Variation of impact force with inner diameter of the air-bag: (a) 160mm, (b) 170mm and (c) 180mm

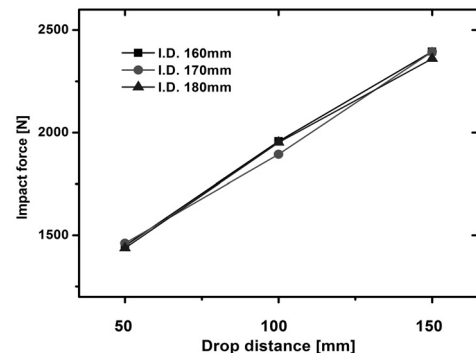


Fig. 5 Variation of average impact force with inner diameter of the air-bag

현상일 수도 있을 것으로 판단되므로 향후 연구에서는 에어백의 안지름과 높이를 각각 200mm 이상, 120mm 이상으로 다양화함으로써 PVC 에어백의 제원에 따른 충격완화성능의 변화를 살펴 볼 계획이다.

본 연구의 시험결과를 종합해 볼 때 PVC 에어백의 충격완화 효과는 두 가지 측면에서 기인하는 것으로 볼 수 있다.

첫 번째는 에어백 안의 공기에 의한 것이다. 진자질량부가 에어백과 충돌한 후 에어백 안의 공기를 밀어내면서 일정한 거리를 이동하게 되는데 그 과정에서 충격에너지를 흡수하게 된다.

따라서 에어백 높이가 높을수록 충격 후 이동하는 거리가 길어지기 때문에 충격흡수능력이 향상된다고 볼 수 있다. 이 추측은 Fig. 4 (a), (b) 그리고 (c)에서 에어백 높이가 가장 높은 90mm인 경우에 이보다 높이가 낮은 에어백보다 충격력이 낮아진다는 시험결과와 대체로 일치한다.

두 번째는 에어백 소재의 변형에 의한 것이다. 본 시험연구에서 사용한 PVC는 연성이 큰 재질로서 PVC 에어백이 충격을 받는 경우 PVC 소재가 늘어나면서 충격을 일부 흡수하는 것으로 판단된다. 따라서 에어백 제원이 약간 다른 경우에도 PVC 소재의 변형으로 인한 충격완화효과에 의하여 충격완화성능이 서로 유사하게 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4 (a)와 (b)에서 에어백 안지름이 160mm와 170mm이고 그 높이가 각각 70mm, 80mm인 경우에 충격완화성능이 서로 유사한 것으로부터 이러한 내용을 유추해 볼 수 있다.

#### 4. 결론

낙상시 발생할 수 있는 고관절손상을 방지하기 위한 엉덩이 보호대로서 0.5mm 두께의 PVC로 에어백을 제작하고 전술한 조건의 낙하시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 에어백을 장착한 경우에는 에어백이 없는 경우에 비하여 신체에 미치는 충격하중이 평균 27.5% 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 에어백 안지름이 170mm인 경우에는 에어백 높이가 달라도 각각의 낙하거리에서 비교적 고른 충격하중값을 보였다.
- (3) 에어백의 안지름과 높이를 고려한 충격완화 성능을 종합해 보면 낙하거리가 동일한 경우 PVC 에어백의 제원에 따른 충격완화성능의 차이는 매우 작은 수준에 있는 것으로 판단된다.
- (4) 따라서 PVC 에어백을 이용할 경우 낙상에 대비할 수 있는 얇고 가벼운 신체충격완화장치를 저렴한 비용으로 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 논문은 한국과학기술연구원(KIST)의 “낙상 케어서비스용 요소기술개발(2V01601)”, “뉴로/바이오 피드백 기반의 능동적 하지 운동재활시스템(2E23042)”과제의 지원으로 진행된 연구결과를 담았습니다. 이에 감사드립니다.

#### References

- (1) Cummings, S. R., Rubin, S. M., and Black, D., 1990, “The Future of Hip Fractures in the United States : Numbers, Costs and Potential Effects of Postmenopausal Estrogen,” *Clin. Orthop*, Vol 22, pp. 163~166.
- (2) Ledsham, R., Boote, J., Kirkland, A., and Davies, S., 2006, “What is it Like to use Hip Protectors? A Qualitative study of the Views and Experiences of Nurses and Patients,” *Clinical Effectiveness in Nursing*, Vol. 951, pp. 97~105.
- (3) Laing, A. C., Feldman, F., Jalili, M., Tsai, C. M., and Robinovitch, S. N., 2011, “The Effects of Pad Geometry and Material Properties on the Biomechanical Effectiveness of 26 Commercially Available Hip Protectors,” *Journal of Biomechanics*, Vol. 44, No. 15, pp. 2627~2635.
- (4) Choi, W. J., Hoffer, J. A., and Robinovitch, S. N., 2010, “The Effect of Positioning in the Biomechanical Performance of Soft Shell Hip Protectors,” *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, No. 5, pp. 818~825.
- (5) Kim, S. H., 2009, *Study on Fall Detection and Fracture Prevention System*, A Thesis for a Doctorate, Chonbuk National University, Republic of Korea.
- (6) Kim, C. H., Lee, Y. -J., Lee, P. -J., and Lee, J. -W., 2011, “Development of Fall Detection System by Estimating the Amount of Impact and the Status of Torso Posture of the Elderly,” *Transaction of Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 60, No. 6, pp. 1204~1208.
- (7) Kim, C. H., 2011, *Impact attenuation device for human body*, KR Patent: 2011-0016172.
- (8) Cho, J. -U., and Han, M. -S., 2011, “Shape Design of Crash Box with Absorption Performance against Impact,” *Transactions of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No. 2, pp. 169~173.