



주름댐퍼를 갖는 안전헬멧의 변형거동특성에 관한 유한요소해석

*김청균 · 김도현

홍익대학교 트리보메카 · 에너지기술 연구센터
(2009년 5월 27일 접수, 2009년 8월 17일 수정, 2009년 8월 17일 채택)

Finite Element Analysis on the Displacement Behavior Characteristics of a Safety Helmet with a Corrugation Damper

*Chung Kyun Kim · Do Hyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology
Hongik University, Seoul 121-791, Korea
(Received 27. May. 2009, Revised 17. August. 2009, Accepted 17. August. 2009)

요 약

본 논문은 여러 가지 주름댐퍼를 갖는 안전헬멧의 변형거동 및 변형률 에너지 특성을 유한요소법으로 해석하였다. 안전헬멧은 외부의 충격력을 차단하고, 충격에너지를 흡수하는 것으로 감쇠효과 기능을 갖고 있다. 주름댐퍼를 갖는 3가지의 헬멧모델은 헬멧의 정상부에 최대의 충격력을 가하였을 때 변위량과 변형률 에너지 특성치를 상호간에 비교하였다. 계산한 FEM 해석결과에 의하면, 외부로 돌출한 주름댐퍼는 헬멧의 감쇠효과를 증가시키는 기여도가 높다는 것이다. 본 연구에서 둥근형상의 주름댐퍼는 전달되는 충격에너지를 효과적으로 흡수할 것이라는 사실이다. 따라서 안전헬멧의 하단부에 둥글고 기다랗게 주름댐퍼를 설치한 헬멧을 새로운 설계인자로 고려할 것을 추천한다.

Abstract - In this paper, the displacement behavior and strain energy density characteristics of a safety helmet with various corrugation dampers has been analyzed based on the finite element analysis. The safety helmet is to protect impact forces and to absorb the impact energy. Three different helmet models with a corrugation damper have been compared as functions of the displacement and strain energy density characteristics when the maximum external impulsive force is imposed on the summit of the helmet. The computed FEM results show that the extruded corrugation damper is very useful to increase the damping effect of the helmet. This study indicates that the round corrugation damper may absorb the transferred impact energy successfully. Thus, this paper recommends round and long corrugation damper on the lower part of the helmet as a new design element.

Key words : helmet, corrugation damper, displacement behavior, strain energy density, fem

1. 서 론

오늘날 사용하는 안전헬멧은 옛날 전쟁터에서 창이나 활과 같은 공격용 무기로부터 머리를 보호하기 위해 가죽이나 나무를 사용하다가 청동과 철과 같

은 금속제품이 개발되면서 견고하고 무거운 투구가 등장하였으나, 최근에는 가볍고 안전한 열가소성 수지로 다양한 형상의 헬멧이 제조되고 있다.

생활 스포츠가 활성화되면서 레저나 운동중에 머리부상을 방지하기 위한 헬멧안전모는 개인의 기본적인 안전장비로 자리를 잡았고, 특히 미식축구나 야구, 또는 오토바이 헬멧처럼 힘과 속력에 의한 위험성이 높아지면서 안전성을 강조한 헬멧개발

*주저자:ckkim_hongik@naver.com

[1-3]은 중요하게 되었다.

건설이나 제조공장과 같은 산업체 현장의 작업 조건은 위험해졌고, 특히 가스에너지가 우리생활의 핵심자원으로 등장하면서 가스폭발과 화재 위험성이 높아졌기 때문에 작업자의 개인안전을 확보할 수 있도록 안전헬멧을 다양하게 개발하고 있다[4,5].

헬멧을 제조하기 위한 소재도 강재, 알루미늄과 같은 금속에서 플라스틱이나 복합소재, 가죽 등에 이르기까지 다양하게 개발되었고, 특히 헬멧을 오랫동안 쓰고 작업하는 사업장이 늘어나면서 헬멧은 무엇보다도 가볍고 안전한 고강도의 플라스틱 소재를 많이 사용하고 있다.

본 연구에서 관심을 갖고 있는 안전헬멧은 주로 소방이나 가스현장에서 위험물을 취급하는 소방관, 가스관리자가 사용하는 헬멧이다. 이들 안전헬멧은 온도나 가스폭발과 같은 작업환경에서 사용하므로 충격력에 대한 강도안전과 변형거동에 따른 안전성에 관심을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 안전헬멧의 변형거동 및 변형을 에너지 안전성을 확보할 수 있도록 여러 가지 주름댐퍼를 갖는 안전헬멧에 대한 감쇠효과 거동특성을 수행하고자 한다.

II. FEM 해석모델

가스현장의 작업자 또는 소방관이 쓰는 안전헬멧은 내충격성과 충돌에너지 흡수력, 내열성, 내식성 등을 확보할 수 있도록 Table 1의 열가소성 수지

Table 1. Material properties.

Property Material	E (GPa)	Poisson's ratio	Tensile strength (MPa)	Density (kg/m ³)
PC	2.53	0.39	54.3	1,150

(thermoplastic resin)를 사용한다. 본 연구에서 사용한 안전헬멧은 머리형상과 유사한 타원형의 둥근 반구형상을 갖도록 설계하였다. Fig. 1은 기존에 많이 사용하는 플라스틱 안전헬멧 모델을 보여주고 있다.

Fig. 2는 안전헬멧에 가해지는 충격전달 에너지를 잘 흡수할 수 있도록 설계된 3가지의 해석모델을 제시한 것이고, 이들 상호간의 변형거동 및 변형을 에너지 감쇠특성을 서로 비교하고자 한다. Fig. 2(a)는 헬멧의 하단부에 \cap 형상의 돌출형 주름댐퍼를 길게 형성한 헬멧형상, Fig. 2(b)는 하단부에 Fig. 2(a)의 모델보다 짧고 더 둥근 \cap 형상을 갖는 헬멧형상, Fig. 2(c)는 헬멧의 하단부에 Γ 형상의 주름댐퍼를 갖는 헬멧모델을 제시한 것이다.

III. 거동특성 안전성에 관한 FEM 해석

3.1. 해석모델 및 경계조건

안전헬멧의 충격력 전달에너지를 잘 흡수할 수 있도록 Fig. 2처럼 주름댐퍼를 설치한 헬멧의 FEM 기반 변형거동 및 변형을 에너지 특성을 Fig. 3에서



Fig. 1. Typical safety helmets with a corrugation damper.

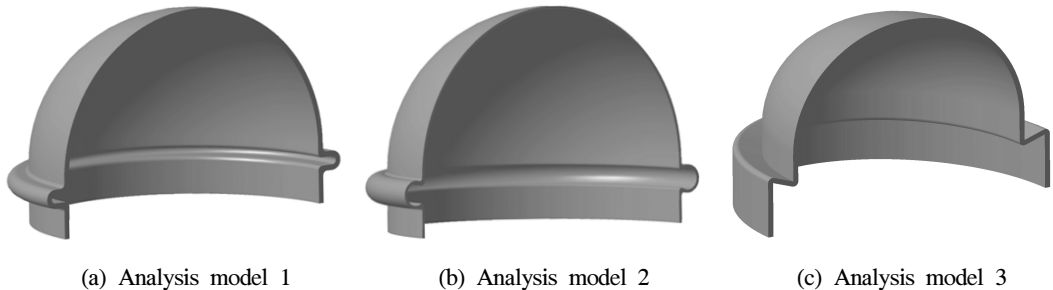


Fig. 2. Finite element analysis models with a corrugation damper.

보여준 1/2 축소모델을 사용하여 해석한다.

안전헬멧의 두께는 헬멧직경에 비해 대단히 작기 때문에 4면체 쉘요소(Quad-shell element)를 사용하였고, 헬멧에서 X축과 Y축은 대칭적인 구속 조건을 적용하였다. 또한 헬멧을 바닥면에 놓았을 때의 경계조건은 Z=0을 적용하여 X-Y축의 변형거동 및 변형을 에너지 특성을 고찰하였다.

3.2. 하중조건

헬멧의 강도안전성은 행정안전부의 소방용 헬멧 규격[6]과 성능시험에 대한 미국의 NFPA 1971[7] 안전기준을 따른다. 즉, 3.58kg±0.05kg의 강제추를 1.5m의 위치에서 안전헬멧의 정상부에 낙하시켰을 때 헬멧에 처음 전달되는 최고 충격력은 4,540N을 초과해서는 안 된다. 또한, 안전헬멧의 중량은 헬멧 착용자의 머리를 안전하게 보호하고 작업성을 확보하기 위해 최대 1.3kg 이내에 있어야 한다.

본 연구는 Fig. 2에서 보여준 것처럼 안전헬멧의 하단부에 ㄷ형상 또는 ㄱ형상의 돌출형태의 주름뎀퍼를 각각 설치한 헬멧에 작용하는 변형거동 및 변형을 에너지 안전성을 해석하기 때문에 안전헬멧의 기본 두께는 헬멧에서 많이 채택하고 있는 4mm를 적용하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

Figs. 4~7에서 제시한 FEM 해석결과는 안전헬멧의 모체표면에 가해지는 충격하중으로 인해 형성되는 변위거동에 기반한 헬멧의 감쇠효과를 추정하고자 한다. 본 연구에서는 안전헬멧의 변형거동 및 변형을 에너지 안전성을 보장하기 위해 4mm의 두께를 갖는 안전헬멧의 모체에 대해 Fig. 3에서

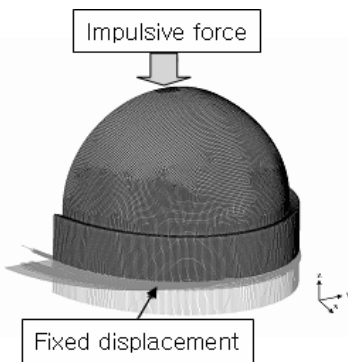


Fig. 3. Finite element meshes and boundary conditions.

보여준 충격하중을 적용하였다.

4.1. 반경방향 변형거동

Figs. 4~5는 안전헬멧 모체의 반경방향을 따라서 형성된 변위량 분포도를 보여준 해석결과이다. 여기서 단반경의 변형거동은 헬멧에서 단축반경, 장반경의 변형거동은 장축반경을 각각 나타낸다.

Fig. 4는 3가지의 해석모델에서 ㄷ형상의 주름을 갖는 헬멧의 단축방향으로 발생한 최대 변위량은 4mm로 주름의 끝단부에서 발생하였지만, ㄱ형상의 주름을 갖는 헬멧의 단축방향 최대 변위량은 2.5mm로 줄어들고, 발생위치는 주름의 끝부분으로 바뀌어 나타난 거동특성을 보여주고 있다.

반면에 장축방향으로 발생한 최대 변위량을 보여준 Fig. 5의 해석결과를 보면, ㄱ형주름을 갖는 헬멧의 최대 변위량은 0.19mm로 돌출주름의 끝부분에서 발생하지만, ㄷ형상의 주름을 갖는 안전헬멧의 단축방향으로 형성된 최대 변위량은 0.1~0.15mm로 줄어들면서 주름뎀퍼의 끝단부와 헬멧모체의 하단부에 넓게 분포하고 있음을 보여준다.

헬멧의 반경방향 변형거동은 ㄷ형상의 주름뎀퍼 끝단부에서 가장 큰 반경방향 변형량이 발생하고, 이것은 돌출한 길이가 다른 모델에 비해 길기 때문에 발생하는 것으로 돌출뎀퍼 설계에서 가장 중요하게 고려되어야 설계요소이다.

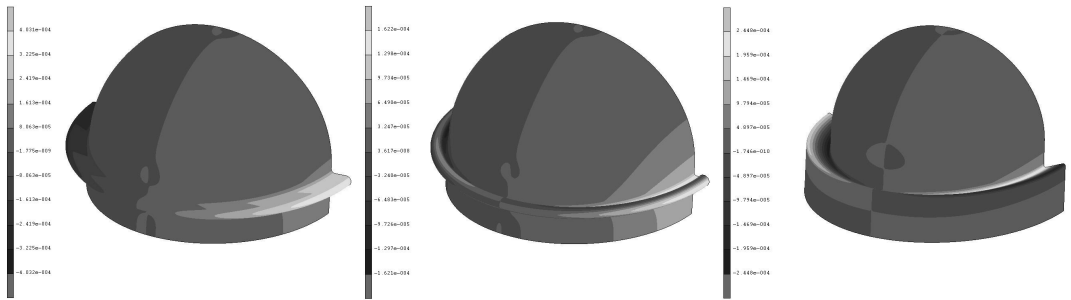
4.2. 수직방향 변형거동

Fig. 6은 안전헬멧의 모체에서 수직방향으로 형성되는 변위량 분포도를 보여준 해석결과이다. 여기서 수직방향의 변형량은 단반경과 단반경에 대해 거의 유사한 거동량 특성을 나타내고 있다.

Fig. 6의 해석모델 3개중에서 가장 큰 수직방향 변형량을 나타낸 해석모델 1은 3.2mm로 ㄷ형주름의 끝부분에서 발생하였고, 나머지 두 모델은 1.5~1.6mm로 거의 같은 수직변위가 발생하였음을 알 수 있다. 여기서 수직방향의 변위량이 증가할수록 안전헬멧의 모체 구조물이 갖는 감쇠효과는 우수해지고, 변위량이 작으면 충격흡수가 잘 안되어 헬멧착용자의 머리로 전달되는 충격력은 증가하여 오랫동안 헬멧을 착용하고 작업하기가 어려워진다.

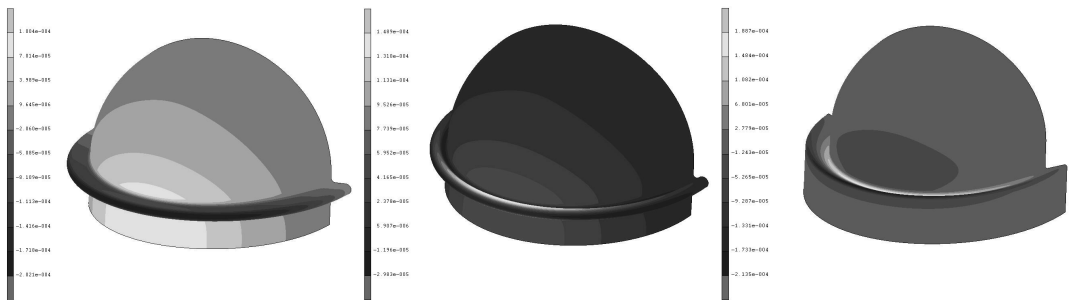
결국 안전헬멧의 변위량이 많이 발생하는 해석 모델 1처럼 ㄷ형상의 주름 돌출부가 길게 튀어나올수록 변형거동이 잘되어 헬멧에 작용하는 충격 전달력을 흡수하기 좋은 구조라는 것을 고려하여 헬멧을 설계해야 한다.

주름댐퍼를 갖는 안전헬멧의 변형거동특성에 관한 유한요소해석



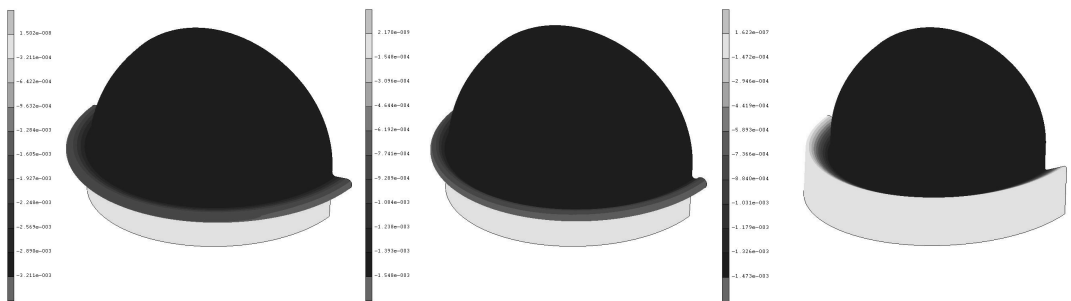
(a) Radial displ. in minor axis of model 1 (b) Radial displ. in minor axis of model 2 (c) Radial displ. in minor axis of model 3

Fig. 4. Radial displacement distribution in minor axis for 3 analysis models.



(a) Radial displ. in major axis of model 1 (b) Radial displ. in major axis of model 2 (c) Radial displ. in major axis of model 3

Fig. 5. Radial displacement distribution in major axis for 3 analysis models.



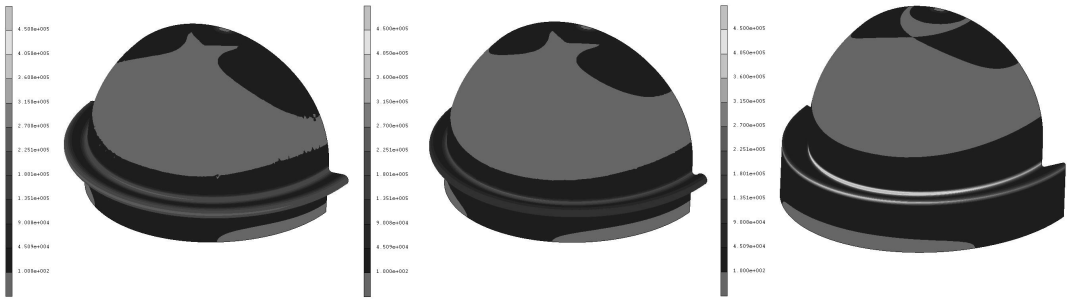
(a) Vertical displacement of model 1 (b) Vertical displacement of model 2 (c) Vertical displacement of model 3

Fig. 6. Vertical displacement distribution for 3 analysis models.

4.3. 변형률 에너지

Fig. 7은 안전헬멧에 작용하는 변형률 에너지의 대표적인 분포도 사례를 보여준 해석결과이다.

Fig. 2에서 제시한 3가지의 해석모델 중에서 해석 모델 1에 걸리는 최대 변형률 에너지는 모체의 상단부에 4.5×10^5 정도로 높게 나타났고, 헬멧의 모



(a) Strain energy density of model 1 (b) Strain energy density of model 2 (c) Strain energy density of model 3

Fig. 7. Strain energy density distribution for 3 analysis models.

체는 대칭적 구조를 갖고 있으므로 변형을 에너지의 저장상태도 Fig. 7에서 보여준 것처럼 원형의 변형을 에너지 분포도를 보여주고 있다. 해석모델 1에서 발생한 변형을 에너지는 타 해석모델에 비해 1.5~2배 정도 높은 결과를 제시한다.

변형을 에너지에 대한 결과를 요약하면, 안전헬멧의 변형을 에너지는 주름댐퍼의 돌출부 길이가 클수록 변형을 에너지 저장도는 높아져 헬멧의 충격 에너지 흡수효과가 우수해지는 것으로 나타났다.

3가지의 해석모델에 대해 제시한 변위 거동량 및 변형을 에너지는 안전헬멧 모체에 공급되는 충격전달 에너지의 감소정도 측면에서 헬멧의 안전성을 평가하는 시험기준이 된다. 이들 FEM 해석결과를 종합하면, 수직방향의 최대변위와 변형을 에너지 최대값을 나타낸 해석모델 1이 가장 우수한 충격에너지 차단효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 안전헬멧의 주름형상을 제작한 돌출부 길이가 길기 때문에 발생하는 감소효과로 가장 우수한 설계요소가 될 것이라는 사실이다.

V. 결 론

안전헬멧에 외부의 충격하중을 가하였을 때, 보통은 착용지점에 하중이 집중되면서 응력과 변형은 그 지점을 중심으로 발생하기 때문에 안전성 확보가 어려워지고, 헬멧을 착용한 사람의 머리에 전달되는 감소효과는 줄어드는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 안전헬멧의 모체에 임의의 주름형상을 설계하여 가능하면 변형거동 에너지를 증가시킬 수 있는 해석모델 3가지 상호간을 FEM으로 비교하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 헬멧의 하단부에 주름형상 돌출부를 길게 설계한 해석모델 1은 다른 해석모

델에 비해 높은 변형거동량과 변형을 에너지를 발생 하는 구조적 특성을 보여주고 있다. 따라서 헬멧의 충격전달 에너지를 증가시키기 위해서는 ㄷ형상의 주름댐퍼는 길게, 두께는 가능한 얇게 설계하는 것이 감소효과 측면에서 중요함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 최명진, “시뮬레이션에 의한 오토바이 헬멧의 충격응답 분석”, 한국시뮬레이션학회지, 8(4), pp.25-31, (1999)
- [2] Li-Tung Chang, “Finite Element Analysis of the Effect of Motorcycle Helmet Materials against Impact Velocity,” J. of the Chinese Institute of Engineers, 26(6), pp.835-843, (2003)
- [3] 유병모, 송재선, 김도, 이수경, 김용환, “유한요소법을 이용한 오토바이 헬멧의 충돌 안전성 검토”, 한국소성가공학회지, 16(5), pp. 370-374, (2007)
- [4] 한응교, 엄기원, 박준서, 이성우, “소방 안전모의 안전도 평가에 관한 연구”, 한국화재학회지, 5(3), pp.5-14, (1991. 11.)
- [5] 김청균, “다구찌 설계법을 이용한 주름댐퍼를 갖는 헬멧안전의 감소효과에 관한 연구, 한국가스학회지, 12(4), pp.34-40, (2008)
- [6] 소방용헬멧 규격서, 행정자치부 제정, (2001. 9. 29)
- [7] NFPA standards 1971-2000, National Fire Protection Association, (2007)