KIGAS Vol. 12, No. 4, December, 2008
(Journal of the Korean Institute of Gas)

헬멧의 강도안전과 변형거동에 관한 수치적 연구

†김청균 · 김도현
홍익대학교 트리보메카에너지기술 연구센터
(2008년 10월 28일 접수, 2008년 12월 8일 수정, 2008년 12월 8일 채택)

Numerical Study on the Strength Safety and Displacement Behaviors of a Helmet

†Chung Kyun Kim · Do Hyun Kim
Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology, Hongik University, Seoul 121-791, Korea
(Received 28. October. 2008, Revised 8. December. 2008, Accepted 8. December. 2008)

요 약

본 논문은 외부의 충격력을 차단하고, 충격에너지를 흡수하는 헬멧의 강도안전과 변형거동에 대한 수치적 연구를 수행한 것이다. 기존헬멧과, 보강뼈대와 주름댐퍼를 추가적으로 설치한 4개의 헬멧모델에 대한 응력 및 변형거동을 유한요소법으로 해석하였다. 헬멧의 정상부에 보강뼈대를 설치하면 헬멧의 강도안전 향상에 유용하고, 헬멧의 하단부에 주름댐퍼를 설치하면 충격에너지 흡수효과가 우수하다는 것을 FEM 해석결과를 통해 확인할 수 있었다. 따라서 첨단헬멧을 안전하게 설계하기 위해서는 보강뼈대와 주름댐퍼를 새로운 설계요소로 고려할 것을 권장한다.

Abstract – This paper presents the numerical study on the strength safety and displacement behaviors of a helmet, which is to protect impact forces and to absorb the impact energy. Four different helmet models including a bead frame and a corrugation damper have been analyzed for the stress and the displacement characteristics by using the finite element method. The computed FEM results show that the bead frame on the summit area of the helmet is very useful to increase the strength safety of the helmet, and the corrugation damper on the lower part of the helmet may increase the energy absorption capacity. Thus, this paper recommends the bead frame and the corrugation damper as new design elements of the helmets.

Key words : helmet, strength safety, displacement behavior, stress, FEM

I. 서 론

헬멧은 머리로 전달되는 외부의 충격력이나 충돌에너지를 완화시켜 머리나 목 부분의 부상을 방지하고, 작업 안전성을 높이기 위해 가스작업자, 소방관, 건설작업자, 오토바이 운전자, 카레이서, 운동선수 등 다양한 사람들에 의해 사용된다.

헬멧은 낙하체나 사람의 전도로부터 머리를 보호하기 위한 안전장구로 산업재해 현장에서 의무적으로 사용한다. 헬멧은 소방관이나 가스작업자들이 사용하는 전통헬멧보다는 레포츠 산업의 급신장으로 오토바이, 자전거, 암벽등반, 카레이싱 등의 분야에서 최고급 헬멧 생산량이 급증하고 있다.

헬멧에 대한 국내연구의 대부분은 오토바이용 헬멧[1,2]에 집중되었고, 스포츠[3]나 소방 및 가스용[4,5] 헬멧에 대한 연구는 극히 제한적이었다. 특히 헬멧에 대한 충돌시험 안전성 평가는 많았지만, 강도안전에 연계된 변형거동이나 응력특성에 대한 연구는 극히 적었다.

따라서 본 연구에서는 헬멧의 강도안전과 충돌에너지에 관련된 응력강도 및 변형거동 특성을 FEM으로 해석하고자 한다. 본 연구의 핵심은 기본헬멧과, 추가하여 헬멧의 정상부에는 강도안전을 확보할 수 있는 보강뼈대, 하단부에는 감쇠효과를 확보할 수 있는 주름댐퍼를 별도로 설치하여 첨단헬멧을 개발하고자 한다.

II. 헬멧구조 및 해석모델

가스안전 작업자 또는 소방관이 쓰는 헬멧은 내충격성과 충돌에너지 흡수력, 내열성, 내식성 등을 확보하기 위해 Table 1의 열가소성 수지(thermoplastic resin)를

†주저자:chungkyunkim@empal.com

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

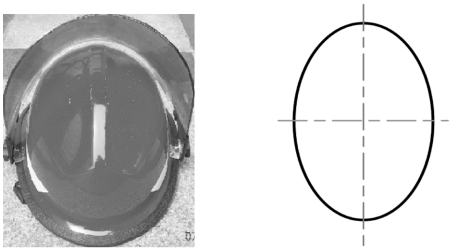


Fig. 1. Typical helmet and elliptical shape.

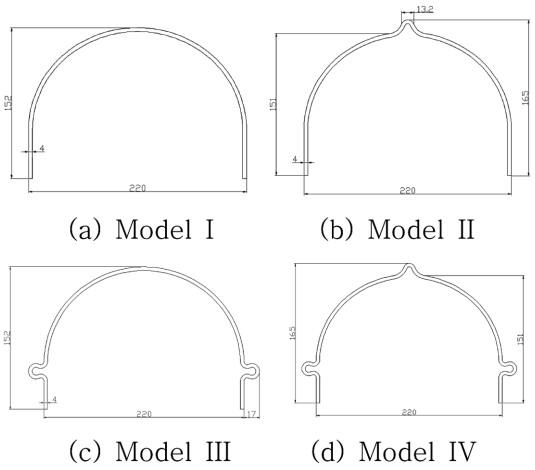


Fig. 2. Finite element analysis models with and without a bead frame and a corrugation damper.

많이 사용한다. 사람의 머리는 앞뒤가 길고, 측면이 좁은 형상으로 구성되기 때문에 Fig. 1에서 보여준 것처럼 헬멧을 머리모양과 유사한 타원으로 제작한다.

Fig. 2에서는 헬멧의 충격강도와 충격전달 에너지 흡수효과에 대한 비교평가를 위해 4가지의 해석모델을 제시하고 있다. 즉, Fig. 2(a)는 가장 단순한 헬멧형상, Fig. 2(b)는 헬멧의 정상부에 내충격 강도를 보완할 수 있도록 보강뼈대를 넣은 헬멧형상을 각각 보여준다. 반면에 Figs. 2(c)와 2(d)는 Figs. 2(a)와 2(b)의 기본형상에 주름댐퍼를 하단부에 추가하여 충돌에너지 흡수력을 보강한 헬멧모델을 제시하였다.

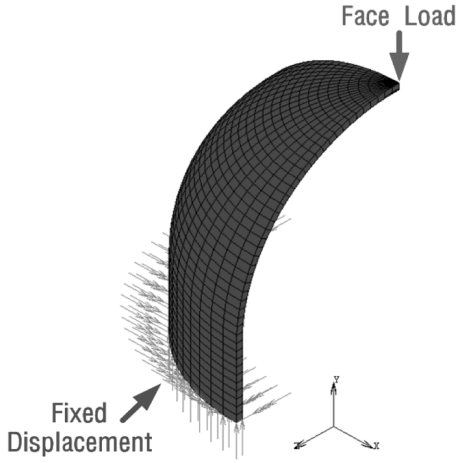


Fig. 3. Finite element meshes and boundary conditions.

III. 거동특성에 관한 FEM 해석

3.1. 해석모델 및 해석조건

헬멧의 강도안전과 충격에너지 감쇠력에 관련된 응력, 변형거동 특성을 해석하기 위해 Fig. 3에서 보여준 것처럼 헬멧을 1/4의 축소모델을 사용하였다.

헬멧두께는 헬멧직경에 비해 대단히 작기 때문에 6면체요소(hexahedral element)를 사용하였고, X축과 Z축에는 대칭적인 구속조건을 적용하였다. 또한 헬멧을 바닥에 놓았을 때의 경계조건은 Y = 0을 적용하여 X-Z축의 거동특성을 고찰하였다.

3.2. 하중조건

헬멧의 강도안전성은 행안부의 소방용 헬멧규격[6]과 성능시험에 대한 미국의 NFPA 1971[7] 기준을 따른다. 즉, 3.58 kg± 0.05 kg의 강재추를 1.5 m의 위치에서 헬멧의 정상부에 낙하시켰을 때 헬멧에 처음 전달되는 최고 충격력은 4,540 N을 초과해서는 안 된다. 또한, 헬멧의 중량은 헬멧 착용자의 머리 보호와 작업성을 확보하기 위해 1.3 kg 이내에 있어야 한다.

본 연구는 Fig. 2처럼 헬멧의 정상부에는 보강뼈대를, 하단부에는 둥근형상의 돌출형 주름댐퍼를 각각 설치한 헬멧에 작용하는 강도안전과 변형거동 특성을 해석하기 때문에 헬멧의 두께는 기존헬멧에서 많이 채택하고 있는 4 mm를 적용하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

Figs. 4~7의 해석결과에서 고려한 충격하중은 50~

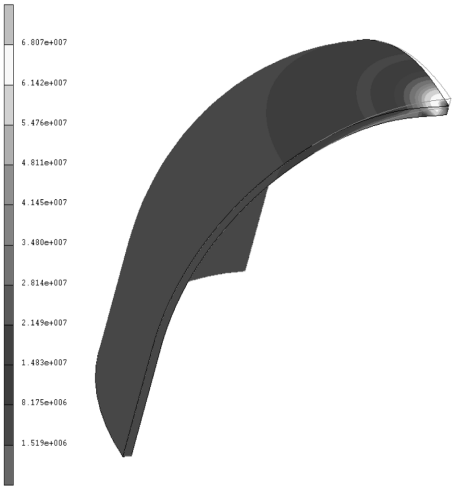
10,000 N으로 KFI 기준[6]에서 요구하는 최대하중 4,540 N을 포함한다. 헬멧의 강도안전과 변형거동 특성을 해석하기 위해 4 mm 두께를 갖는 헬멧의 정상부에는 충격하중을 Fig. 3에서 보여준 것처럼 면적하중을 적용하여 해석오차를 줄였다.

4.1. 해석모델 I

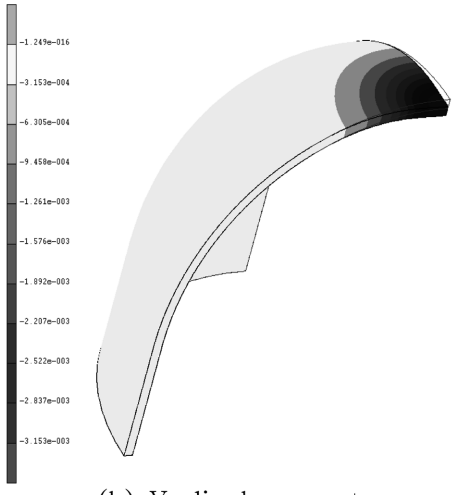
Fig. 2(a)에서 제시한 반구형상의 타원형 헬멧모델 정상부에 최대하중 4,540 N을 공급하였을 때 발생하는 von Mises 응력분포와 변형거동 특성을 Fig. 4에서 보여준다. 이때 헬멧에 걸리는 von Mises 최대응력 68.1 MPa과 수직방향의 최대변위 3.2 mm는 충격하중이 작용하는 헬멧의 정상부에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 헬멧제조에 사용된 소재의 인장강도가 54.3 MPa인 점을 고려하면 모델 I의 정상부는 이미 손상을 받은 것으로 예측되기 때문에 모델 I의 정상부는 소재를 두껍게 하거나 Fig. 2(b)에서 제시한 보강뼈대를 설치해야 안전하다.

4.2. 해석모델 II

Fig. 2(b)처럼 반구형상의 헬멧모델 정상부에 기다란 보강뼈대를 설치하고, 이 지역에 최대하중 4,540 N을 공급하였을 때 발생하는 von Mises 응력분포와 변형거

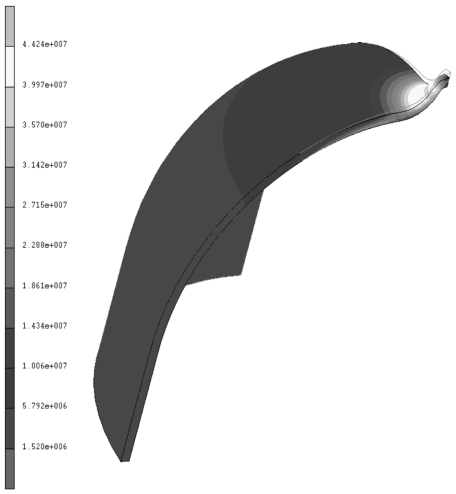


(a) von Mises stress

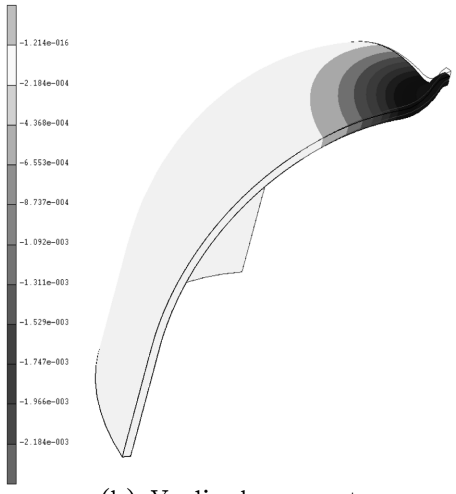


(b) Y-displacement

Fig. 4. von Mises stress and vertical displacement distributions of a helmet model I.



(a) von Mises stress



(b) Y-displacement

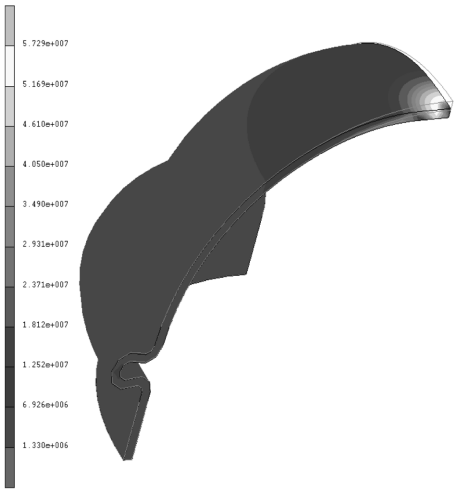
Fig. 5. von Mises stress and vertical displacement distributions of a helmet model II.

동 분포특성을 Fig. 5에서 보여준다. 보강뼈대를 갖는 헬멧에 걸리는 von Mises 최대응력은 44.2 MPa로 모델 I에 비해 35.1%나 줄어들어 안전한 설계모델로 변하였고, 최대변위 2.2 mm는 모델 I에 비해 31.2%나 줄어들어 충격에너지 흡수효과는 약간 나빠졌다.

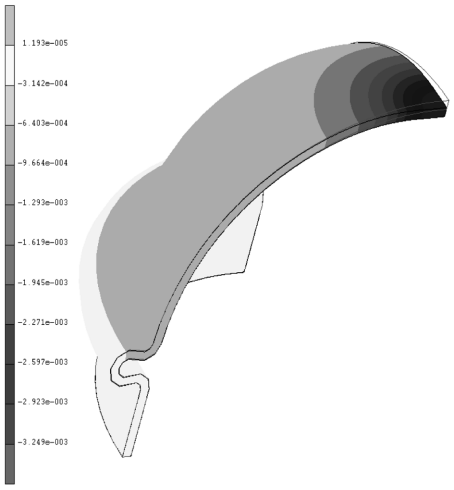
Figs. 4와 5의 해석결과에서 Fig. 2(a)의 모델은 강도안전성, Fig. 2(b)의 모델은 충격에너지 흡수효과 측면에서 문제점을 각각 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 헬멧의 하단부에 별도의 주름댐퍼를 설치하여 상기모델의 현안을 개선하고자 한다.

4.3. 해석모델 III

헬멧의 변형거동 안전성, 즉 충격에너지 흡수효과를 확보하고자 Fig. 2(c)처럼 헬멧의 하단부에 주름댐퍼를 설치하고, 헬멧의 정상부에 4,540 N을 적용한 상태에서 von Mises 응력분포와 변형거동 특성을 해석하였다. Fig. 6의 해석결과에 의하면, 하단부에 주름댐퍼를 설치한 헬멧의 von Mises 최대응력은 57.3 MPa로 Fig. 2(a)의 해석모델에 비해 안전해졌고, 최대변위는 3.3 mm는 모델 I의 3.2 mm에 비해 약간 향상되었다. 따라서 헬멧의 하단부에 주름댐퍼를 설치하면 헬멧의 강도안전성

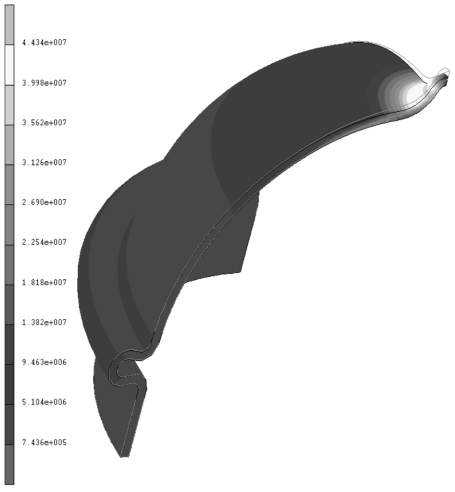


(a) von Mises stress

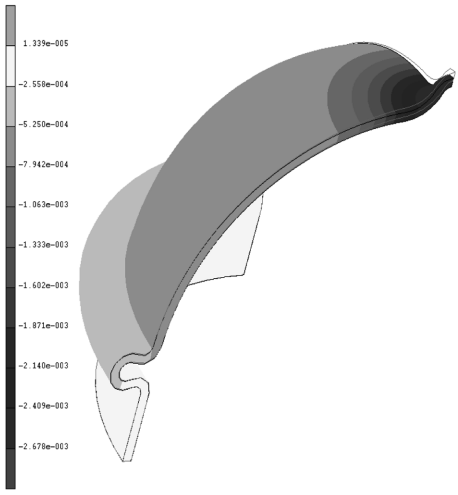


(b) Y-displacement

Fig. 6. von Mises stress and vertical displacement distributions of a helmet model III.



(a) von Mises stress



(b) Y-displacement

Fig. 7. von Mises stress and vertical displacement distributions of a helmet model IV.

과 충격에너지 흡수효과는 좋아지는 것으로 나타났다.

4.4. 해석모델 IV

헬멧의 강도안전과 감쇠효과를 확보하고자 Fig. 2(d)처럼 헬멧의 정상부에는 보강뼈대를, 하단부에는 주름댐퍼를 각각 설치하고, 최대하중 4,540 N을 적용한 상태에서 von Mises 응력분포와 변형거동 특성을 해석하였다. Fig. 7의 해석결과에 의하면, 헬멧의 정상부에 걸리는 von Mises 최대응력은 44.3 MPa로 Fig. 2(b)의 해석모델과 거의 유사하지만, 최대변위는 2.7 mm로 모델 2의 2.2 mm에 비해 23%나 향상된 결과를 보여주고 있다. 따라서 헬멧의 정상부에는 보강뼈대, 하단부에는 주름댐퍼를 설치할 경우 헬멧의 강도 안전성과 감쇠효과는 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 헬멧의 정상부에 면적하중 50~10,000 N을 적용하였을 때 발생하는 von Mises 최대응력을 요약한 결과이다. 헬멧의 강도안전을 고려할 때 해석모델 II, III, IV는 4,540 N 이하의 하중에서 안전하고, 그 이상의 하중에서는 강도안전을 보장할 수 없는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 헬멧의 충격에너지 흡수효과를 나타내는 결과로, 헬멧의 하단부에 주름댐퍼를 설치한 해석모델 III에서 가장 우수한 거동특성을 보여주지만, 강도안전성 측면에서는 위험하다. 반면에 해석모델 IV의 충격에너지 감쇠효과는 모델 III에 비해 약간 떨어지지만, 더 우수한 강도안전성을 확보하고 있다. 따라서 Fig. 2에서 제시한 모델 4가지 중에서 안전성과 감쇠성 측면을 함께 고려하면 해석모델 IV가 우수한 헬멧모델이라 할 수 있다. 결국, 헬멧은 강도안전과 감쇠안전을 확보하기 위해 헬멧의 정상부에는 보강뼈대를 설치하고, 하단부에는 주름댐퍼를 넣는 것이 바람직하다.

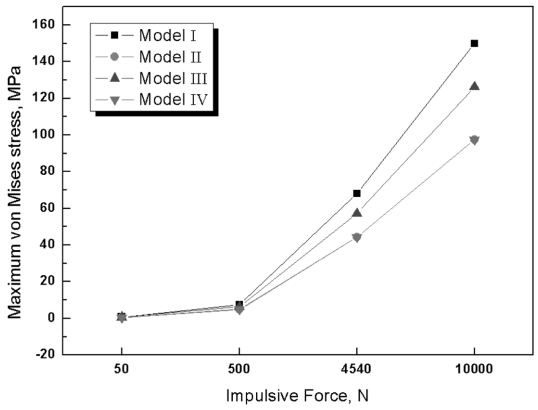


Fig. 8. Maximum von Mises stress as functions of contact loads for various helmet models.

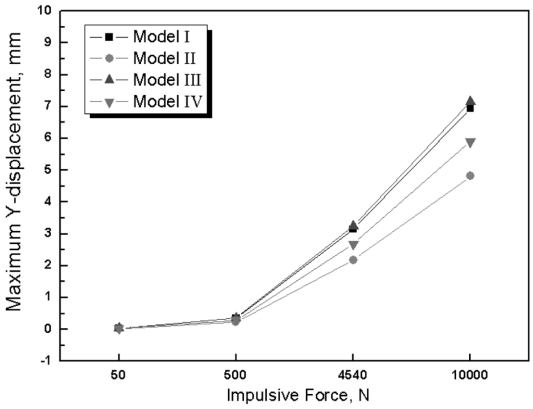


Fig. 9. Maximum displacement in vertical direction as functions of contact loads for various helmet models.

V. 결 론

헬멧의 강도안전성과 충격에너지 흡수효과를 검토하기 위해 4개의 해석모델을 선정하여 헬멧에 작용하는 응력과 변형거동 특성을 해석하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 헬멧의 강도안전 측면에서는 헬멧의 정상부에 보강뼈대를 설치하여 충격강도를 보강하고, 헬멧의 하단부에는 충격에너지를 흡수할 수 있는 별도의 주름댐퍼를 설치하여 변형거동성을 증가시켜 주름댐퍼에 의해 충격에너지를 더 많이 흡수할 수 있도록 설계하는 것이 중요함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] 최명진, “시뮬레이션에 의한 오토바이 헬멧의 충격응답 분석”, 한국시뮬레이션학회지, **8**(4), 25-31, (1999)
[2] 유병모, 송재선, 김도, 이수경, 김용환, “유한요소법을 이용한 오토바이 헬멧의 충돌 안전성 검토”, 한국소성가공학회지, **16**(5), 370-374, (2007)
[3] 최경임, “야구용 헬멧의 안전성 평가 방법”, 안전경영학회지, **4**(2), 1-10, (2002)
[4] 한응교, 엄기원, 박준서, 이성우, “소방 안전모의 안전도 평가에 관한 연구”, 한국화재학회지, **5**(3), 5-14, (1991. 11.)
[5] 김한구, 심종현, 김청균, “소방가스안전용 헬멧의 강도안전성에 관한 연구”, 한국가스학회지, **12**(3), 31-37, (2008)
[6] 소방용헬멧 규격서, 행정자치부 제정, (2001. 9. 29)
[7] NFPA standards 1971-2000, National Fire Protection Association, (2007)