



## 정상부에 돌출구조물을 구비한 안전모의 지지하중 및 응력에 관한 유한요소해석

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터  
(2015년 11월 14일 접수, 2016년 4월 19일 수정, 2016년 04월 20일 게재)

## Finite Element Analysis on the Bearing Loads and Stress of Safety Helmets with an Extruded Structure

†Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology Hongik University,  
Seoul 121-791, Korea

(Received November 14, 2015; Revised April 19, 2016; Accepted April 20, 2016)

### 요약

본 논문에서는 돌출구조물을 장착한 안전모의 지지하중과 응력분포에 대한 유한요소 해석결과를 제시하고 있다. 9.4mm의 동일한 변위하중을 안전모에 가한 5가지의 서로 다른 해석모델에 대하여 지지하중과 von Mises 최대응력을 해석하였다. 이들 모델에서, 모델 4와 모델 5는 주어진 9.4mm의 변위하중에 대하여 최고의 지지하중과 낮은 최대응력을 보여준다는 측면에서 우수한 것으로 나타났다.

**Abstract** - This paper presents the finite element analysis results for bearing loads and stress distributions of safety helmets with an extruded structure. Five different analysis models with given same displacement load of 9.4mm have been analyzed for bearing loads and maximum von Mises stress. In these models, model 4 and model 5 are recommended as a maximum bearing load and low maximum stress for given displacement load of 9.4mm.

**Key words** : Safety helmet, Displacement load, Bearing load, Stress, FEM

### 1. 서론

머리 부상을 방지하기 위해 착용하는 안전모(Safety helmet)는 외부의 충격 에너지를 완화시켜 작업자의 안전을 확보하기 위한 안전장구이다. 따라서 위험한 환경에서 작업해야 하는 가스, 소방, 산업, 레포츠 등의 분야에서 안전모는 대단히 중요하다.

작업자의 안전을 확보하기 위해 모든 산업재해 현장에서 작업자는 안전모를 의무적으로 착용하도록 법으로 강제하고 있다. 작업자가 안전모를 착용할 경우 머리 부상률은 63~88%, 사망률은 73%나 감

소하는 것으로 나타났다. 안전모를 착용할 경우 작업자의 안전은 크게 향상되지만 안전모를 미착용하는 이유는 착용에 따른 불편함을 호소하지만, 실제로는 안전 불감증이다.

가스, 소방, 재난 현장에서 안전모 착용에 대한 인식이 높아져 사고율은 상대적으로 낮아졌다. 작업 현장에서는 원가절감을 위해 초저가형의 안전모를 사용하기 때문에 종종 사고가 발생하기도 한다. 반면에 건강과 취미생활 분야에서는 디자인을 앞세운 고가의 고품질 안전모를 선호하기 때문에 업체의 기술개발은 레포츠 제품에 집중하고 있다.

안전모에 대한 연구가 거의 없는 가운데에서도 오토바이용 헬멧[1], 가스 및 소방용 안전모[2,3] 등에 대한 사례가 있다. 결국 안전모에 대한 연구는 실증

†Corresponding author:ckkim\_hongik@naver.com  
Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

되었고, 생산 관련 제품모방 기술개발만 진행되었다.

본 연구에서는 안전모의 강도안전에 관련된 지지하중과 응력거동 특성을 FEM으로 해석하고자 한다. 독특하게 정상부에 돌출구조물을 일체형으로 설치한 안전모에 균일한 변위하중을 서로 다른 위치에 가할 때 발생하는 거동특성을 FEM으로 해석하였다.

## II. 해석모델

안전모는 충돌에너지의 감쇄, 내수성, 내식성 등을 감안하여 Table 1에서 제시한 수치계통을 사용하고 있다.

Fig. 1에서는 정상부에 돌출구조물을 구비한 안전

Table 1. Material properties

Material \ Property	E (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m <sup>3</sup> )
ABS	2.53	0.39	1,150

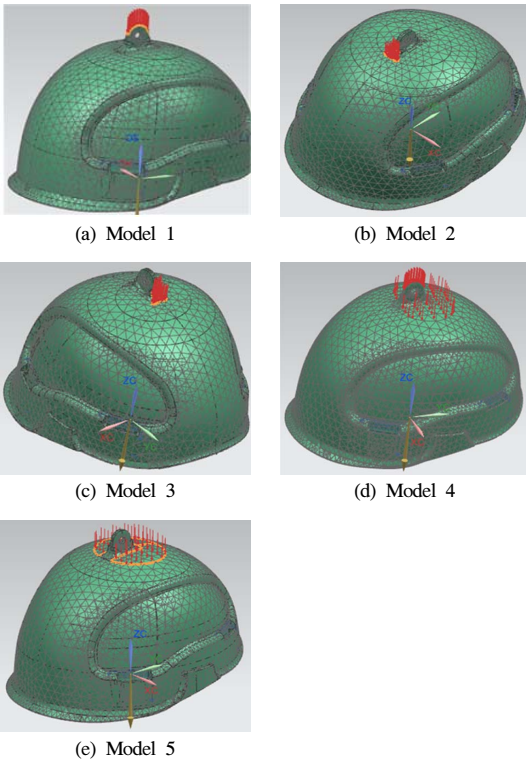


Fig. 1. Finite element analysis models for safety helmet with an extruded structure.

모의 상대적인 안전성을 비교하기 위해 정상부에 가하는 변위하중의 위치를 달리한 5가지의 해석모델에 대해 비교연구를 수행하였다.

Fig. 1(a)에서는 안전모의 정상부에 설치한 돌출구조물의 외측표면을 따라서 변위하중을 가한 해석모델 1을 보여주고 있다. Fig. 1(b)에서는 상기 돌출구조물의 전면부 경계면에 변위하중을 집중적으로 가한 모델 2, Fig. 1(c)에서는 후면부 경계면에 집중된 변위하중을 가한 모델 3, Fig. 1(d)에서는 돌출구조물의 정상부를 포함하여 경계면에 변위하중을 가한 모델 4, Fig. 1(e)에서는 돌출구조물의 정상부를 제외한 경계면 주변에 변위하중을 가한 모델 5를 각각 보여주고 있다.

## III. FEM 해석

### 3.1. 해석조건

안전모의 강도에 관련된 지지하중과 응력거동 특성을 해석하기 위해 Fig. 1에서 제시한 모델 5가지는 서로 다른 위치에 변위하중을 가한 경우이다.

FEM 해석에서 안전모의 두께는 직경에 비해 대단히 작기 때문에 6면체요소(hexahedral element)를 사용하였고, X축과 Z축에는 대칭적인 구속조건을 적용하였다. 또한, 안전모를 바닥면에 놓았을 때의 경계조건은 Y=0을 적용하여 X-Z축의 거동특성을 고찰하였다.

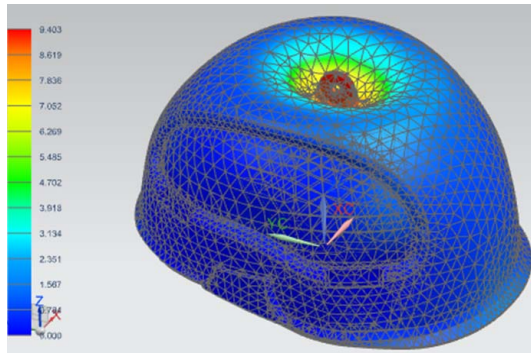
### 3.2. 하중조건

안전모의 강도안전성에 관한 기준은 안전모 규격 [4]과 미국의 NFPA 1971[5]을 따른다. 본 연구에서는 안전모의 지지하중과 응력거동 특성을 상대적으로 고찰하기 위해 정상부에서 수직 하방향으로 가한 변위하중은 9.4mm이다.

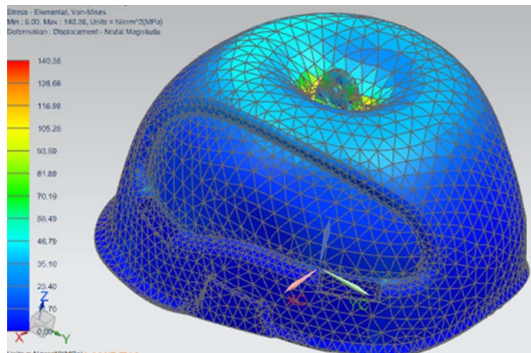
## IV. 해석결과 및 고찰

### 4.1. 모델 1

Fig. 1(a)의 모델 1에서 보여준 것처럼 돌출구조물의 상면부에 수직 하방향으로 9.4mm의 변위하중을 가하였을 때 돌출구조물 주변에 작용하는 지지하중 분포도는 Fig. 2(a)와 같이 해석되었다. 이때 안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 5,600N으로 비교적 높게 나타났다. 또한, Fig. 2(b)에서는 140.4MPa의 von Mises 최대응력이 돌출구조물 주변에 균일하게 분포하는 것으로 해석되었다.



(a) Bearing load distribution



(b) von Mises stress distribution

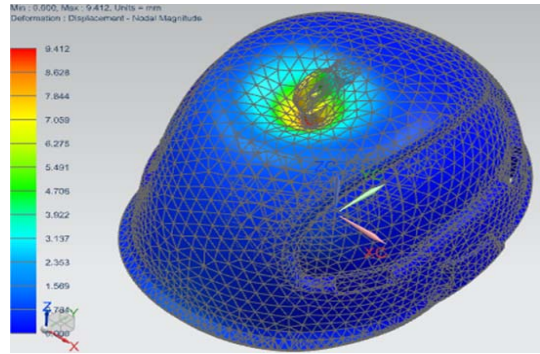
**Fig. 2.** von Mises stress and bearing load distributions of an extruded helmet model 1.

#### 4.2. 모델 2

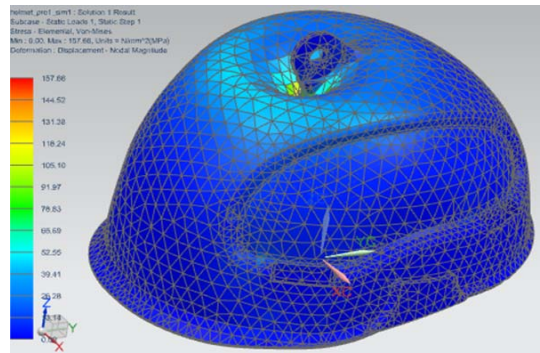
Fig. 1(b)의 모델에서 보여준 것처럼 돌출구조물의 전면부 경계면에 수직 하방향으로 변위하중 9.4mm를 가하였을 때 돌출구조물 전면부 주변을 따라 변형된 지지하중 분포도를 Fig. 3(a)에서 보여주고 있다. 이때 안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 3,350N로 Fig. 3(a)의 해석결과에 비해 낮게 나타났다. 이것은 변위하중 9.4mm를 돌출구조물의 전면부 앞쪽부위에 집중되었기 때문에 쉽게 변형되는 지지하중 분포의 결과이다. 또한, Fig. 3(b)에서는 돌출구조물의 앞쪽 주변에 von Mises 최대응력 157.7MPa이 발생하는 것으로 나타났는데, 이것은 돌출구조물의 정상부에 균일하게 작용하는 Fig. 2(b)의 해석결과에 비해 12.3%나 더 높은 응력집중 현상을 보여주고 있다.

#### 4.3. 해석모델 3

Fig. 1(c)의 모델에서 보여준 것처럼 돌출구조물의 후면부 경계면을 따라 9.4mm의 변위하중을 가



(a) Bearing load distribution



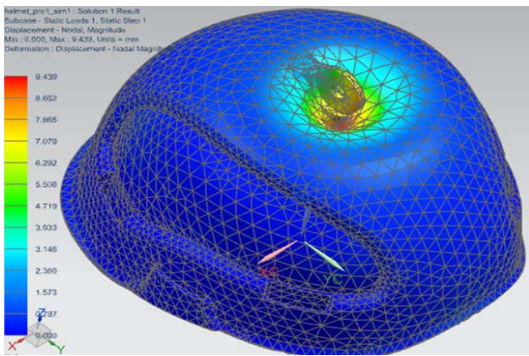
(b) von Mises stress distribution

**Fig. 3.** von Mises stress and bearing load distributions of an extruded helmet model 2.

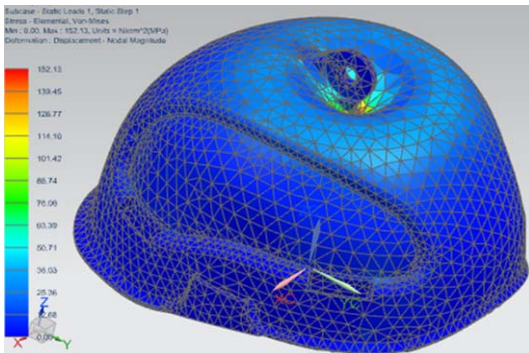
하였을 때 돌출구조물의 후면부 주변에는 국부적으로 변형된 해석결과를 Fig. 4(a)에서 보여주고 있다. 이때 안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 3,450N으로 Fig. 3(a)의 해석결과보다 100N이 높지만 작은 값이다. 이것은 돌출구조물의 후면부 강도가 약간 높다는 것을 의미한다. 또한, Fig. 4(b)에서는 돌출구조물의 후면부 주변에 von Mises 최대응력 152.1MPa이 발생하는 것으로 나타났는데, 이것은 Fig. 2(b)의 해석결과에 비해 8.3%나 더 작용하는 것으로 나타났다.

#### 4.4. 해석모델 4

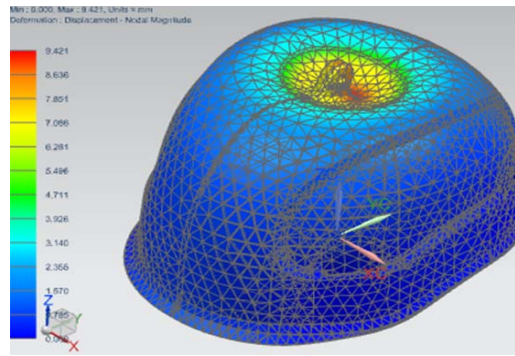
Fig. 1(d)와 같은 해석모델에서는 돌출구조물의 정상부를 포함하여 주변에 수직 하방향의 변위하중 9.4mm를 가하였을 때 돌출구조물의 후면부 주변을 중심으로 변형된 지지하중 분포도를 Fig. 5(a)에서 보여주고 있다. 이때 안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 8,050N으로 대단히 높게 나타났는데, 이것은 안전모의 정상부에서 견딜 수 있는 지지하중이



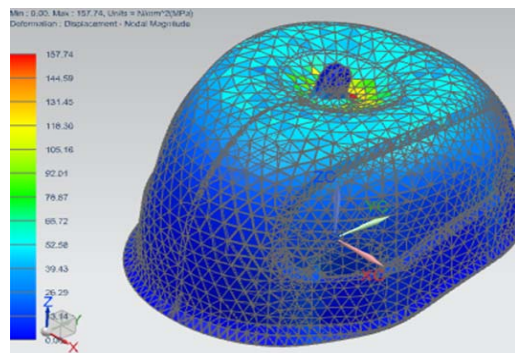
(a) Bearing load distribution



(b) von Mises stress distribution



(a) Bearing load distribution



(b) von Mises stress distribution

**Fig. 4.** von Mises stress and bearing load distributions of an extruded helmet model 3.

**Fig. 5.** von Mises stress and bearing load distributions of an extruded helmet model 4.

상대적으로 균일하게 분포되었기 때문에 나타난 해석결과로 안전모의 강도안전성이 우수하다는 것을 의미한다. 또한, Fig. 5(b)에서는 돌출구조물의 후면부에 국부적으로 분포하는 von Mises 최대응력은 79.3MPa로 해석되었다. 이 결과는 돌출구조물의 정상부에 균일하게 작용하는 Fig. 2(b)의 해석모델에 비해 22.3%나 줄어든 것으로 상대적으로 안전하다는 해석결과를 제시하고 있다.

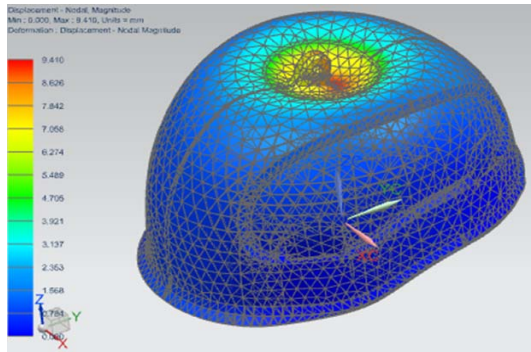
#### 4.5. 해석모델 5

Fig. 1(e)와 같은 해석모델에서는 돌출구조물의 주변에 수직 하방향의 변위하중 9.4mm를 가하였을 때 돌출구조물의 후면부 주변에 형성된 지지하중 분포도 해석결과를 Fig. 6(a)에서 보여준다. 이때 안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 8,050N으로 대단히 높게 나타났는데, 이것은 안전모의 정상부에 균일하게 분포하기 때문에 견딜 수 있는 강도가 높다는 것이다. 또한, Fig. 6(b)에서는 돌출구조물의 후면부에 국부적으로 분포하는 von Mises 최대응력은

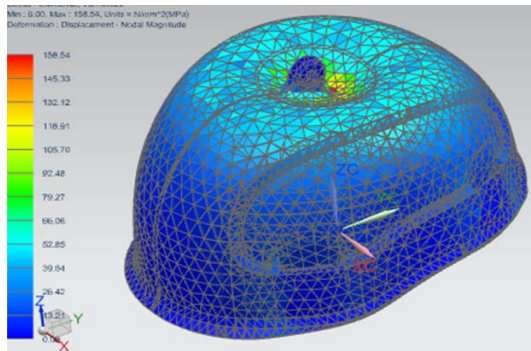
158.5MPa로 높게 해석되었다. 이것은 Fig. 2(b)의 해석모델에 비해 12.9%나 증가한 것으로 돌출구조물과 안전모의 정상부가 만나는 뒤쪽 부분에서 응력이 집중되었기 때문이다.

Fig. 7에서는 안전모의 정상부에 수직 하방향으로 9.4mm의 변위하중을 가하였을 때 5개의 모델이 견딜 수 있는 최대지지하중을 제시한 해석결과이다. FEM 해석결과에 의하면, 9.4mm의 동일한 변위하중을 가하였을 때 발생한 최대수직하중은 8,050N로 모델 5에서 가장 높게 나타났고, 모델 2에서는 가장 낮게 나타났다. 여기서 수직방향의 지지하중이 높다는 것은 돌출구조물을 포함하여 지지하중을 수용하는 접촉면적이 넓거나 안전모의 두께가 상대적으로 크다는 것을 의미하는 것으로 결국 강도안전성이 우수하다는 것을 의미한다.

Fig. 8에서는 안전모의 정상부에 수직 하방향으로 9.4mm의 변위하중을 가하였을 때 5가지의 모델이 견딜 수 있는 최대지지하중과 von Mises 최대응력을 각각 나타내고 있다. 이때 모델 5에 대한 해석결



(a) Bearing load distribution

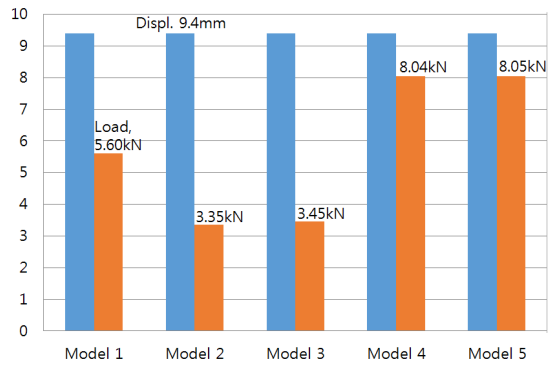


(b) von Mises stress distribution

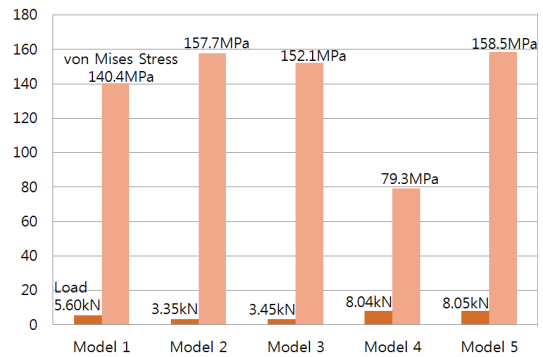
**Fig. 6.** von Mises stress and bearing load distributions of an extruded helmet model 5.

과를 보면 9.4mm의 변위하중을 발생시키는데 필요한 최대수직하중은 8,050N로 안전모가 견딜 수 있는 지지하중은 높지만, 국부적으로 집중된 변위하중을 가하였기 때문에 von Mises 최대응력은 158.5MPa으로 높게 나타났다. 반면에 가장 낮게 걸린 von Mises 최대응력은 79.3MPa로 해석된 모델 4의 경우로 상대적으로 넓은 수용면적에 변위하중이 분포되었기 때문이다.

본 연구에서 안전모에 동일한 수직 하방향의 변위하중 9.4mm를 가하였을 때 발생하는 최대지지하중은 모델 4와 모델 5에서 보여준 것처럼 변위하중이 돌출구조물의 주변에 고르게 분포되도록 작용할 때 안전모가 견디는 강도안전성이 우수한 것으로 나타났다. 또한, 안전모의 응력강도 안전성 측면에서는 안전모의 정상부에 형성된 돌출구조물을 포함하여 인근에 균일하게 분포하도록 변위하중을 분포시킨 모델 4에서 가장 낮은 응력이 작용하고 있다.



**Fig. 7.** Maximum bearing loads for various models with same displacement load of 9.4mm.



**Fig. 8.** Maximum von Mises stress and bearing loads for various models with same displacement load of 9.4mm.

## V. 결론

정상부에 돌출구조물을 갖춘 안전모에 수직 하방향의 변위하중 9.4mm을 가하는 위치를 서로 다르게 적용한 5개의 모델에 대하여 지지하중과 응력을 FEM으로 해석하였다.

해석결과에 의하면, 돌출구조물을 구비한 안전모의 정상부근에 가해지는 변위하중의 위치를 어느 곳에 작용시키느냐가 안전모의 지지하중과 응력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

안전모가 견딜 수 있는 최대지지하중은 모델 5에서 보여준 것처럼 돌출구조물의 주변에 고르게 분포될 때 높게 나타났다. 또한, 안전모의 응력강도 안전성 측면에서는 안전모의 정상부에 형성된 돌출구조물을 포함하여 인근에 균일하게 변위하중이 작용한

다고 가정된 모델 4에서 가장 낮은 응력이 작용하는 것으로 나타났다.

## REFERENCES

- [1] M.J. Choi, "Impulsive Response Analysis of an Autocycle Helmet by Simulation", J. of Korea Simulation, 8(4), pp.25-31, (1999)
- [2] E.K. Han, K.W. Ewong, J.S. Park, and S.W. Lee, "A Study on the Safety Evaluation of a Firefighters Helmet", J. of Korea Fire, 5(3), pp.5-14, (1991. 11.)
- [3] H.G. Kim, J.H. Shim and C.K. Kim, "A Study of the Strength Safety of a Helmet for Firefighter and Gas Safety", J. of KIGAS, 12(3), pp.31-37, (2008)
- [4] Code for Firefighters Helmet, Ministry of Government and Safety, (2001. 9. 29)
- [5] NFPA Standards 1971-2000, National Fire Protection Association, (2007)