KIGAS Vol. 17, No. 5, pp 37~41, 2013
(Journal of the Korean Institute of Gas)
http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2013.17.5.37

정상 돌출부를 갖는 안전모의 강도 안전성에 관한 연구

†김청균
홍익대학교 트리보・메카・에너지기술 연구센터
(2013년 7월 30일 접수, 2013년 9월 26일 수정, 2013년 9월 26일 채택)

A Study on the Strength of the Helmets with a Lobe in the Summit

†**Chung Kyun Kim**
Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology Hongik University, Seoul 121-791, Korea
(Received July 30, 2013; Revised September 26, 2013; Accepted September 26, 2013)

요 약

본 연구에서는 안전모 쉘 구조물의 정상부에 돌출부를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해, 안전모의 두께를 변수로 응력과 변위거동 안전성을 유한요소법으로 해석하였다. 안전모는 오랫동안 착용해도 안전성을 높여주고, 충격에너지를 흡수하여 착용상의 불편함을 줄여주며, 머리와 목 부분을 보호할 수 있어야 한다. 응력해석 결과에 의하면, 4,540N의 충격력이 안전모의 정상부 표면에 가해졌을 때 기존의 안전모에서는 3.7mm, 수정된 새로운 안전모에서는 3.2mm의 두께를 확보해야 안전하다는 것을 보여주고 있다. 변형거동 해석에 기초한 FEM 해석결과에 의하면, 기존의 안전모에서는 3.2mm, 수정된 새로운 안전모에서는 2.0mm의 두께를 유지해야 안전한 것으로 나타났다. 따라서, 안전모를 안전하게 설계하기 위해서는 안전모의 정상부에 돌출 구조물을 설치하는 것이 좀 더 안전하다할 수 있다.

Abstract - This paper presents the strength safety of stress and deformation behaviors using the finite element method as a function of the thickness of the protective helmets with and without an extruder on the top of the shell structure. The helmet that would provide head and neck protections without causing discomfort to the user when it was worn for long periods of time should be manufactured for increasing the safety and impact energy absorption. The stress analyzed results show that when the impulsive force of 4,540N is applied on the top surface of a helmet, the safe thickness is 3.7mm for the conventional helmet and 3.2mm for the modified new helmet. Based on the deformation analysis, the FEM results recommend that the safe thickness is 3.2mm for the conventional helmet and 2.0mm for the modified new helmet. Thus, it may be more safe design of the helmet, which has an extruded structure on the summit surface of the helmet.

Key words : helmets, strength safety, extruder, von Mises stress, deformation, FEM

I. 서 론

안전모는 낙하하는 물체로부터 머리를 보호하고, 또한 머리나 목 부분에 전달되는 충격 에너지를 완화하여 안전모 착용자의 안전을 확보하기 위한 일종의 머리 보호장치이다. 따라서 가스산업을 비롯한 모든 산업체에서 근무하는 작업자는 안전모 착용을 의무화하고 있다.

안전모는 머리와 턱을 끈으로 연결하여 착용하기 때문에 많은 불편함과 압박감을 느낀다. 또한, 산업현장에서는 안전모를 늘 착용한 상태에서 작업을 하기 때문에 불편함을 느끼지만, 만약 사고가 발생할 경우는 안전모만이 머리를 보호할 수 있다.

†Corresponding author:ckkim_hongik@nate.com
Copyright ⓒ 2013 by The Korean Institute of Gas

따라서 모든 나라에서는 작업환경이 위험하든 아니든 관계없이, 작업현장에 들어가는 모든 사람들에게 안전모 착용을 강제하고 있다. 그럼에도 불구하고 산업현장에서 안전모 착용을 기피하는 것은 '설마 나에게 사고가 일어날까?'라는 안전의식 부족이 가장 큰 원인으로 알려져 있다.

우리나라에서도 개인안전에 대한 중요성이 강조되면서 안전모 착용률이 높아지고는 있으나, 선진국의 안전문화 수준에 도달하려면 아직 멀었다. 최근 소득수준 향상과 글로벌 안전기준에 적합한 작업환경의 변화로 안전모 착용의 중요성은 크게 부각되었지만, 안전모를 구매하는 기준은 안전성과 착용성보다는 가격에 많이 의존한다는 것이다.

따라서 산업현장에서 안전성, 착용성, 기능성이 우수한 고급 안전모를 선정하기보다는 산업안전 인증기준을 통과한 저가형 안전모를 선호하기 때문에 외국처럼 안전성과 기능성이 우수한 신기술 안전제품을 개발하려는 업체나 연구사례[1,2]는 거의 없다.

기존에 사용되는 안전모의 강도를 보장하기 위해서는 안전모의 두께를 두껍게 하면 되지만, 이것은 안전모를 무겁게 하여 착용자는 중압감과 피로감을 더 느끼기 때문에 안 된다. 따라서 최근의 안전모는 안전성은 강화하고, 무게를 줄이기 위해 안전모 정상부의 두께는 두껍게 하고, 그 나머지 부분은 얇게 하는 기술을 적용하고 있다.

본 연구에서는 안전모에 대한 기존의 기술보다 더 우수한 강도 안전성을 확보하기 위해 정상지역에는 돌출부를 설치하고, 그 이외의 지역에는 안전모의 두께를 얇게 하는 설계기술을 적용하였다. 새로이 개발된 안전모에서는 정상지역에 돌출부를 설치하였을 때의 강도 안전성을 유한요소법으로 해석하고, 이 결과를 기존의 안전모와 비교하였다.

Ⅱ. FEM 강도 안전성 해석

2.1. 해석모델

안전모에 대한 강도 안전성을 해석하기 위해, Fig. 1(a)에서 보여준 기존의 안전모 모델과 정상부에 돌출구조물을 형성한 새로운 안전모 모델 Fig. 1(b)을 고려하였다.

이들 두 안전모 모델의 크기와 기본 두께, 소재는 모두 같고, 다른 점은 안전모의 정상부에 돌출 구조물을 설치하느냐, 아니냐가 특징적 차이점이다.

Fig. 1에서 고려한 안전모의 강도 안전성을 해석하기 위해 사용한 프로그램은 MSC/MARC[3]이다. 안전모의 두께는 직경에 비해 대단히 작기 때문에 4각 쉘 요소(shell element)를 사용하였고, X축과 Y축에는 대칭적 구속조건을 적용하였다. 또한, 안전모를 바닥면에 놓았을 때의 경계조건은 Z=0을 적용하여 X-Y축의 강도 안전성에 대해 고찰하였다.

2.2. 해석조건

안전모의 강도 안전성은 안전행정부의 산업용 안전모[4]와 미국의 NFPA 1971[5] 기준을 참고로 고찰하였다. 국제적으로 통용되는 안전규격에 따르면

Table 1. Material properties of PC/ABS plastics

Material properties	Values
Elastic modulus, GPa	2.53
Yield strength, MPa	54.4
Poisson's ratio	0.39
Density, kg/cm^3	1,150

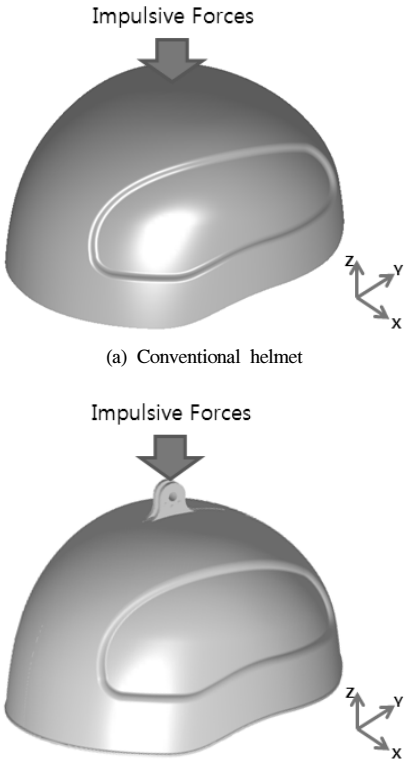


Fig. 1. FEM design models with impulsive forces.

3.58kg의 철제봉을 1.5m의 높이에서 안전모의 정상부에 낙하시켰을 때 안전모에 전달되는 최고 충격력은 4,540N을 초과해서는 안 된다고 규정하고 있다. 따라서 안전기준에 적합한 안전모는 최소한 4,540N의 충격력을 견뎌야 안전하다고 판정할 수 있다.

본 연구에서 사용한 안전모는 PC/ABS 플라스틱 소재를 사용하였고, 이 소재의 물성치는 Table 1에서 제시하고 있다.

Ⅲ. 해석결과 및 고찰

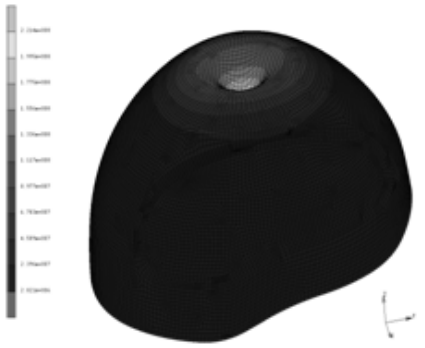
안전모의 강도 안전성을 해석하기 위해 Fig. 1에서 보여준 것과 같은 설계모델의 정상부에 충격하중 4,540N을 가하였을 때 발생한 응력과 변위량 해석결과를 Figs. 2~7에서 보여주고 있다.

Fig. 2는 기존의 안전모 정상부에 4,540N의 충격하중을 가할 때 발생하는 von Mises 응력분포를 보여준 FEM 해석결과이다. 안전모의 두께가 가장 얇은 1.8mm일 경우는 정상부에서 221.4MPa의 von Mises 최대응력이 발생하지만, 3.0mm의 두께를 갖는 경우는 82.7MPa로 1.8mm에 비해 62.6%나 증가된 강도 안전성을 보여주고 있다.

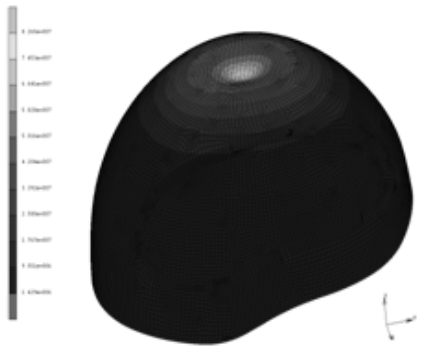
또한, Fig. 3은 기존 안전모의 정상지역에 돌출부를 형성한 새로운 안전모 모델로 Fig. 2와 동일한 충격하중을 가할 때 발생한 von Mises 응력분포를 보여주고 있다. 안전모의 두께가 1.8mm인 경우는 정상부에서 146.8MPa의 von Mises 최대응력이 발생하고, 3.0mm의 두께를 갖는 경우는 61.9MPa로 1.8mm에 비해 57.8%나 증가된 강도 안전성을 보여주고 있다.

Figs. 2와 3에서 보여준 강도 안전성 해석결과를 비교하면, 안전모의 정상지역에 돌출 구조물을 설치하는 것이 더 안전한 것으로 나타났다. 그러나, 이들 모델에서 계산된 최대응력은 모두 안전모의 항복강도 54.5MPa을 벗어났기 때문에 안전하다할 수 없다.

Fig. 4는 기존의 안전모와 수정된 새로운 안전모 모

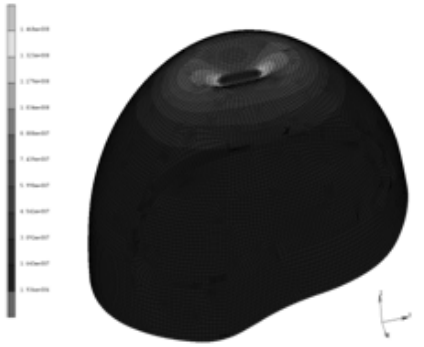


(a) For 1.8 thickness

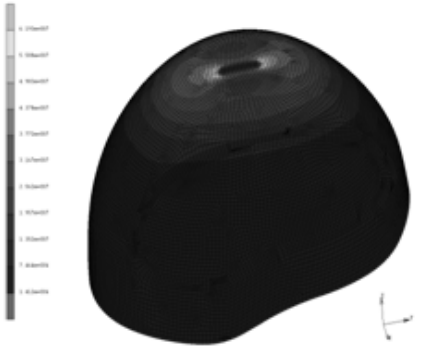


(b) For 3.0 thickness

Fig. 2. Von Mises stress distributions of conventional helmets.



(a) For 1.8 thickness



(b) For 3.0 thickness

Fig. 3. Von Mises stress distributions of modified helmets with a extruder.

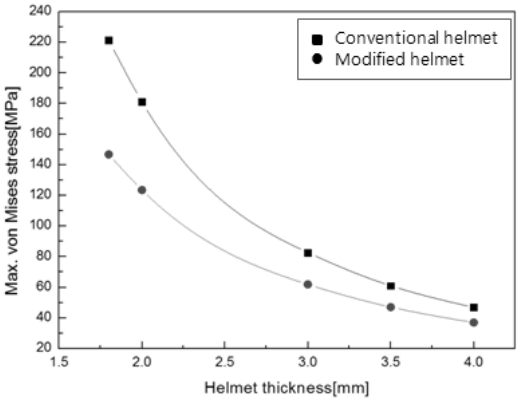
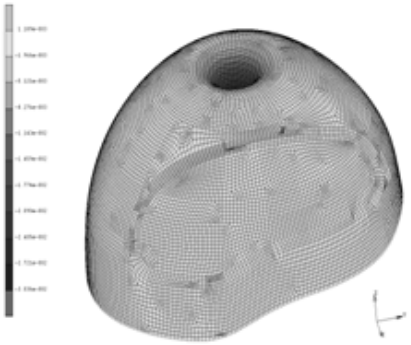
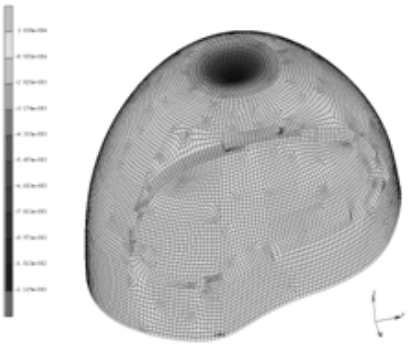


Fig. 4. Maximum von Mises stress distributions of the helmets.



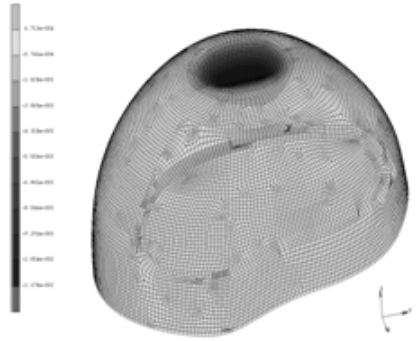
(a) For 1.8 thickness



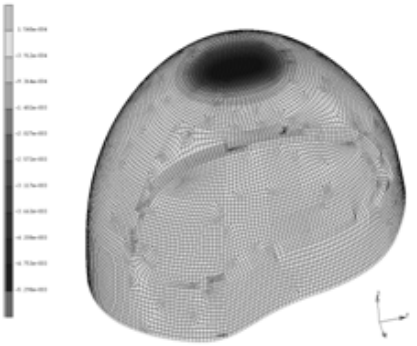
(b) For 3.0 thickness

Fig. 5. Deflection distributions of conventional helmets.

델의 두께를 변경하면서 응력강도 안전성을 해석한 결과이다. 기존의 안전모에서는 PC+ABS 소재의 항복



(a) For 1.8 thickness



(b) For 3.0 thickness

Fig. 6. Deflection distributions of modified helmets with a extruder.

강도 안전성을 고려할 때 3.7mm 이상으로 설계하는 것이 안전하고, 정상지역에 돌출부를 갖도록 수정한 새로운 안전모에서는 3.3mm 이상으로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 5는 기존의 안전모 정상부에 충격하중을 가할 때 발생한 변형거동 분포를 보여준 FEM 해석결과이다. 안전모의 최소두께가 1.8mm인 경우는 정상부에서 30mm의 최대 변위량이 수직 하방향으로 발생하고, 3.0mm의 두께를 갖는 경우는 11.3mm로 1.8mm에 비해 62.3%나 향상된 변형거동 안전성을 보여주고 있다.

또한, Fig. 6은 기존의 안전모 정상부에 돌출부를 형성한 새로운 안전모 모델로 Fig. 5와 동일한 충격하중을 가할 때 발생하는 변형거동 분포도를 보여준 결과이다. 안전모의 두께가 1.8mm인 경우는 정상부에서 11.8mm의 최대 변위량이 발생하고, 3.0mm의 두께를 갖는 경우는 5.3mm로 1.8mm에 비해 55.1%나 증가된 변형거동 안전성을 보여주고 있다.

Fig. 7은 기존의 안전모와 수정된 새로운 안전모 설계모델의 두께를 변경하면서 변형거동 안전성을 해석

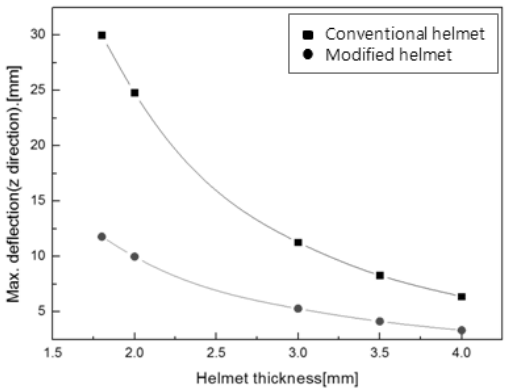


Fig. 7. Maximum deflection distributions of the helmets.

한 결과이다. Fig. 7에서 제시한 최대 변형량으로 안전성을 정확하게 논하는 것은 어렵지만, 안전모를 착용할 때 안전모의 정상부와 머리의 정상부 사이에는 최소 10mm 이상을 떨어뜨려야 한다는 안전기준을 준용하면 된다. 따라서 본 연구에서 해석한 안전모의 최대 변위량은 10mm를 기준으로 변형거동 안전성을 판정할 때, 기존의 안전모에서는 3.2mm 이상으로 두껍게 설계하는 것이 안전하고, 정상부에 돌출부를 갖도록 수정한 새로운 안전모에서는 2.0mm 이상으로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 기존의 안전모와 정상지역에 돌출 구조물을 갖는 안전모의 강도 안전성을 응력 및 변위량 데이터로 비교하여 고찰하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 기존의 안전모보다는 정상지역에 돌출 구조물을 설치하는 것이 강도 안전성과 경량화 측면에서 유리함을 알 수 있다. 즉, 본 연구에서 사용한 PC+ABS 소재의 항복강도 안전성을 고려할 때 기존의 안전모에서는 3.7mm, 정상지역에 돌출부를 설치한 새로운 안전모에서는 3.3mm 정도로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

또한, 안전모의 강도 안전성을 변형거동 측면에서 고찰하면, 기존의 안전모에서는 3.2mm, 정상부에 돌출부를 갖도록 형성된 새로운 안전모에서는 2.0mm 이상으로 설계하는 것이 바람직하다는 데이터를 제시한다.

따라서 안전모의 정상지역에 돌출 구조물을 설치하는 것은 강도 안전성 측면에서 우수한 결과를 제시하지만, 안전모를 제작하기 위해서는 응력강도와 변형거동 안전성 데이터에서 각각 예측된 두께를 참고로 실험결과가 수반되어야 안전하고, 가벼운 안전모가 개발될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

[1] Chung Kyun Kim and Do Hyun Kim, “Numerical Study on the Strength Safety and Displacement Behaviors of a Helmet,” J. of the KIGAS, 12(4), 34~40, (2008)
[2] Chung Kyun Kim, “On the Damping Effects of Helmet Safety with a Corrugation Damper using Taguchi’s Optimization Design,” J. of the KIGAS, 12(4), 41~45, (2008)
[3] "MARC user’s manual," Ver. K6.1, MARC Analysis Research Co., (1996)
[4] Protective helmets standard, MOEL, (1997. 12. 29)
[5] NFPA standards 1971-2000, National Fire Protection Association, (2007)