

# 엔지니어링 플라스틱 소재별 보강뿔대 형상에 따른 산업용 안전모의 구조 최적화

박만호<sup>\*,\*\*</sup>, 이여울<sup>\*\*</sup>, 이용문<sup>\*\*</sup>, 박재하<sup>\*\*\*</sup>, 강명창<sup>\*\*,#</sup>

<sup>\*</sup>두산중공업(주), <sup>\*\*</sup>부산대학교 융합학부, <sup>\*\*\*</sup>(주)이레테크

## Structural Optimization of Industrial Safety Helmet According to Frame Shape using Engineering Plastic

Man-Ho Park<sup>\*,\*\*</sup>, Yeo-Wool Lee<sup>\*\*</sup>, Yong-Moon Lee<sup>\*\*</sup>, Jae-Ha Park<sup>\*\*\*</sup>, Myungchang Kang<sup>\*\*,#</sup>

<sup>\*</sup>Doosan Heavy Industries & Construction Co.,Ltd., 22, DoosanVolvo-ro, Changwon, 51711, Korea

<sup>\*\*</sup>Graduate school of convergence science, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

<sup>\*\*\*</sup>Eretec Inc., #901, 401, Simin-daero, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, 14057, Korea

(Received 27 November 2018; received in revised form 2 December 2018; accepted 15 January 2019)

### ABSTRACT

The industrial safety helmets are personal protective equipment (PPE), used to protect the head against falls from a height. This study indicated the necessity of wearing a safety helmet while working at heights below 4 m, through analysis of fall accidents occurring in the industrial field. The stress, displacement, and strain of the safety helmet shell structure have been analyzed using the finite element method with various thicknesses, engineering plastics, and designs. It was preferred that the safety helmet shell structure had a reinforcement frame of uniform thickness in terms of increased impact strength and strain energy absorption rate. The thickness can be reduced to lighten the total weight for workers wearing safety helmets.

**Key Words :** Industrial Safety Helmet(산업용 안전모), Falls(추락), PA66(폴리아미드), POM(폴리아세탈), Engineering Plastic(엔지니어링 플라스틱), Frame(뿔대)

## 1. 서 론

산업용 안전모는 추락사고가 발생하는 산업현장에서 사망사고를 줄일 수 있는 유일한 개인보호구이다<sup>[1]</sup>. 2017년 12월 기준으로 산업현장의 추락 재해자수는 14,308명이었다. 산업현장 전체에서 발생한 사고 재해자수 81,629명(전체 재해자수는 89,848명)의 17.5%를 점유하였다. 최근 5년간의 추

락 재해현황은 Table 1과 같다<sup>[2]</sup>. 매년 사고 재해자 중 16~17% 내외의 추락 재해자가 발생하고 있고, 사고 사망자 중에서는 36% 내외로 지속 발생하고 있다.

우선적으로 이러한 추락사고를 예방하고자 산업안전보건법규는 안전시설물 설치를 규정하고 있으나 작업여건 상 부득이한 경우 차선책으로 보호구 측면에서 안전대(Harness)와 함께 산업용 안전모를 추락용 보호구로 명시하고 있다. 추락용 보호구로 명시한 것과 관련하여 산업용 안전모가 추락사고 발생시 부상정도를 경감시킬 수 있다는 의견과 보

# Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2361, Fax: +82-51-510-7396

**Table 1 Number of industrial accidents**

(a) Fall injuries			
Year	Injuries and illnesses(Number)	Injuries (Number)	Fall* injuries (Number/%)
2017	89,848	81,629	14,308/17.5
2016	90,656	82,517	14,679/17.8
2015	90,129	81,954	14,126/17.2
2014	90,909	82,947	14,104/17.0
2013	91,824	83,893	13,756/16.4

(b) Fall fatal injuries			
Year	Fatal injuries & illnesses(Number)	Fatal injuries (Number)	Fall* fatal injuries (Number/%)
2017	1,957	964	366/38.0
2016	1,777	969	366/37.8
2015	1,810	955	339/35.5
2014	1,850	992	363/36.6
2013	1,929	1,090	349/32.0

\* Fall means falls from height(or falls to lower level) except for kinds of accident caused by slippings or trippings

호구 측면에서 안전대의 보조적 역할만 수행한다는 주장이 대립하고 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 외국 문헌을 조사한 결과<sup>[3]</sup>, 안전대는 4m 이하 고소작업(Working at height)에서 추락사고 발생시 개인보호구로서의 역할을 하지 못한다. 또한, 실제 산업현장에서 발생한 추락사고 데이터베이스를 분석한 결과에서도 안전모 착용여부 및 추락 높이에 따른 머리 손상여부가 차이를 보이는 추락높이는 4m이하의 고소작업으로 나타나 있다<sup>[4]</sup>. 안전모에 대한 이전 연구를 살펴보면 오토바이용 헬멧<sup>[5-6]</sup>, 야구용 헬멧<sup>[7]</sup>, 소방 안전용 헬멧<sup>[8-9]</sup> 등이 있지만 산업용 안전모에 폴리아미드(PA66, Poly Amid), 폴리카보네이트(PC, Poly Carbonate) 등 범용 플라스틱(Commercial plastic) 소재를 적용하거나, 모체 구조물(Shell structure) 형상을 달리해 해석한 사례는 대단히 제한적이다.

따라서, 본 연구에서는 고소작업으로 정의된 2~4m 높이에서 작업자의 머리 손상을 방지할 수

있는 유일한 개인보호구로서의 산업용 안전모에 대해 모체 구조물의 소재(M) 및 두께( $t_1$ ), 보강뿔대의 두께( $t_2$ ), 개수(N)에 변화를 주어 4인자 3수준의 다구찌 실험계획법을 이용하였다. 적용된 소재는 폴리아미드, 폴리아세탈(POM, Poly Oxy Methylene) 엔지니어링 플라스틱(Engineering plastic)이고, 강도 안전성과 경량화를 함께 확보하는 산업용 안전모 구조 최적화 해석은 유한요소해석(FEM, Finite Element Method)을 실시하였다.

## 2. 산업용 안전모 종류 및 시험성능

### 2.1 산업용 안전모의 종류

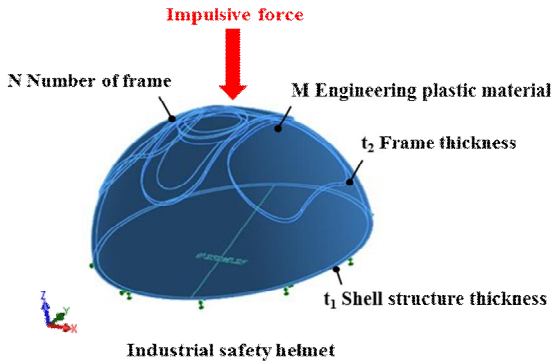
산업용 안전모는 재해발생 형태별 보호 목적에 따라 Table 2와 같이 3가지로 분류 할 수 있으며, 국내 대부분의 현장에서는 추락, 낙하 및 감전에 의한 위험을 모두 방지하는 ABE형을 사용하고 있다. 본 연구에서는 엔지니어링 플라스틱 소재를 적용하여 감전의 위험을 방지하였으며, 산업용 안전모의 자체 강도안전성 및 충격흡수성을 높이고 작업자의 착용 편의성을 위한 경량화 측면으로 접근 하는바, 모체 구조물의 형상에 변화를 주어 연구를 실시하였다.

**Table 2 Types of industrial safety helmets**

Type	Protection
AB	Falls, flying objects
AE	Falls, voltage shock
ABE	Falls, flying objects and voltage shock

**Table 3 Material properties with engineering plastic**

Properties	unit	ABS-PC	PA66	POM
Density	kg/m <sup>3</sup>	1070	1140	1400
Poisson Ratio	-	0.39	0.39	0.36
Young's Modulus	GPa	2.41	2.88	3.10
Shear Modulus	GPa	0.86	1.04	1.14



**Fig. 1 Impulsive force and four design factors of taguchi experimental design method for industrial safety helmet**

산업용 안전모 모델링을 위한 분류로는 모체 구조물의 형상에 따라 크게 빨대(Frame)가 없는 MP(Military policeman)형과 빨대가 있는 투구(Knight)형으로 분류할 수 있으며, 투구형 산업용 안전모 빨대는 안전모를 생산하는 제조사에 따라 그 크기, 형상 및 위치가 상이하다. 본 연구에서는 MP형 산업용 안전모는 반구형상의 대칭구조로 모델링을 수행하였고, 투구형 산업용 안전모는 정상부 및 이를 기준으로 양옆으로 빨대를 배치하였다. 안전모 모델링은 구조해석조건에서 모체구조물 하부를 고정함으로 Fig. 1과 같이 단순화하였다.

## 2.2 산업용 안전모의 소재

플라스틱은 금속이나 목재, 세라믹에 비해 경량성, 전기 절연성 등이 우수한 반면, 기계적 강도가 부족하다. 이러한 단점을 해결하기 위해 개발된 수지가 엔지니어링 플라스틱이다<sup>10)</sup>.

국내 현장에서 사용하고 있는 대부분의 산업용 안전모는 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌-폴리카보네이트(ABS-PC, Acrylonitrile Butadiene Styrene-Polycarbonate) 소재로 강도 및 가공성이 우수하다. 본 연구에서 사용한 소재는 총 3가지로 ABS-PC와 기계적 강도, 내마모성이 우수해 자동차의 실린더 헤드 커버와 라디에이터 탱크 등에 쓰이는 PA66 및 강도, 치수안정성, 내마모성이 뛰어나 엔지니어링 플라스틱 중에서 가장 금속에 가까운 POM에

**Table 4 Design factors and levels**

Factor Level	M	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	N (ea)
1	ABS-PC	2.00	1.00	1
2	PA66	3.00	2.00	2
3	POM	4.00	3.00	3

**Table 5 Orthogonal array table of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)**

No	M	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	N (ea)
1	ABS-PC	2	1	1
2	ABS-PC	3	2	2
3	ABS-PC	4	3	3
4	PA66	2	2	3
5	PA66	3	3	1
6	PA66	4	1	2
7	POM	2	3	2
8	POM	3	1	3
9	POM	4	2	1

강화제로 10% 유리섬유를 혼합한 복합소재를 적용하였으며, 물성치는 Table 3과 같다.

## 3. 다구찌 실험계획법 및 구조해석

### 3.1 다구찌 실험계획법

Table 4는 산업용 안전모 설계인자에 대한 수준 3가지로 다구찌 실험계획법에서 사용한 인자는 산업용 안전모의 소재(M), 모체 구조물의 두께(t<sub>1</sub>), 보강빨대의 두께(t<sub>2</sub>)와 개수(N) 총 4가지로 Fig. 1과 같다. 이에 따른 응력, 변위, 변형율, 무게를 특성치로 선정하여 4개 값 모두가 작은 망소특성을 손실함수로 분석하여 FEM을 이용해 해석하였다. 망소특성 상 신호대 잡음(SN ratio, Signal to Noise) 비가 클수록 산업용 안전모의 강도안전성 및 충격 흡수성이 유리하다는 의미로 Minitab 18로 분산 분석을 실시해 설계인자별 특성치에 대한 기여도를 산출하였다.

Table 5는 다구찌 실험계획법에서 4인자 3수준

의 직교배열표를 이용해 구조 최적화 설계 모델을 9가지로 축소하여 해석을 수행하였다<sup>[11]</sup>.

### 3.2 유한요소해석 조건

산업용 안전모 충격흡수시험에 관한 기준은 고용노동부 고시에서 규정한 성능 시험기준을 적용하였다<sup>[12]</sup>. 즉, 산업용 안전모 정상부에 3.6kg 충격추를 1.5m에서 떨어뜨렸을 때 전해지는 최고 전달 충격력이 4,450N을 초과해서는 안된다. 따라서 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 산업용 안전모에 작용하는 충격하중은 모체 구조물의 강도안전을 확보하는데 필요한 충격력 4,450N을 산업용 안전모의 정상부에 수직으로 적용하는 것으로 가정하고 Solidworks 2018을 사용해 해석하였다<sup>[13]</sup>.

산업용 안전모의 소재, 두께 및 보강빨대 두께와 개수를 변수로 모체 구조물에 나타나는 응력, 변위, 변형을 특성을 비교하기 위해 먼저, Fig. 2와 같이 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 빨대가 없는 MP형 산업용 안전모 모델에 구조해석을 수행하였다. 해당 산업용 안전모 모체 구조물 두께가 4mm 이하로 전체 직경에 비해 대단히 작기 때문에 일반 표준 메쉬(Tetra mesh)를 적용하였고 산업용 안전모를 바닥에 놓았을 때 접촉하는 부위를 고정하였다.

### 4. 구조해석 결과 및 고찰

먼저, 비교 해석을 진행한 Fig. 2는 모체 구조물의 두께는 4mm, 빨대가 없는 MP형 안전모로 정상부에 충격하중 4,450N을 가하여 구조를 해석한 결과, 최대응력 35MPa, 최대변위 2.08mm, 최대변형율은 0.008을 나타내었다.

Fig. 3, 4, 5는 산업용 안전모 모체 구조물의 두께, 빨대 두께 및 개수를 달리한 Table 5의 9가지 모델에 대한 응력분포와 변위, 변형율에 대한 해석결과를 보여주고 있다.

산업용 안전모에 가장 큰 von Mises 최대응력 85MPa를 보여준 Fig. 3(a)는 모체 구조물과 빨대 두께가 각각 2mm로 빨대 개수는 3개로 설계한 산업용 안전모이며, 가장 작은 von Mises 최대응력

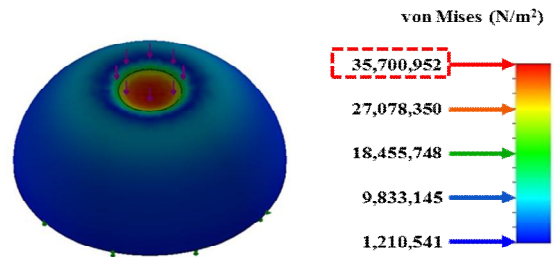
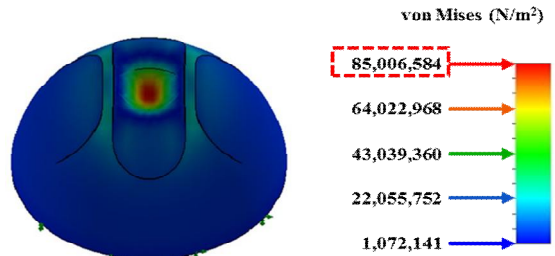
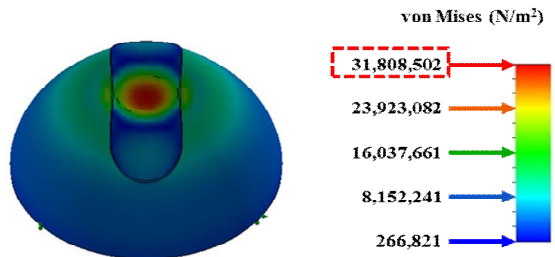


Fig. 2 Calculated von Mises stress of common industrial safety helmet



(a) 4th 2-2-3 Model



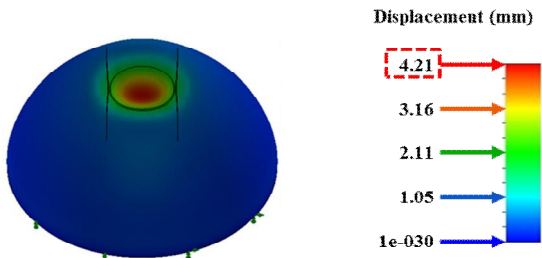
(b) 5th 3-3-1 Model

Fig. 3 Calculated von Mises stress of the 4th and 5th safety helmet shell models

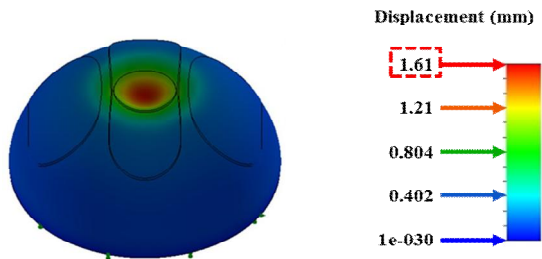
31MPa를 보여준 Fig. 3(b)는 모체 구조물과 빨대 두께가 각각 3mm로 빨대 개수는 1개로 설계한 산업용 안전모이다.

Fig. 3의 응력분포 해석결과를 보면 산업용 안전모 모체 구조물의 두께를 두껍게 하는 것도 중요하지만 소재 및 보강빨대의 개수와 두께를 조절함으로써 응력을 잘 분산시키고 있으므로 산업용 안

전모의 강도안전성 측면에서 최적의 인자 수준을 도출 할 수 있을 것으로 예상된다.

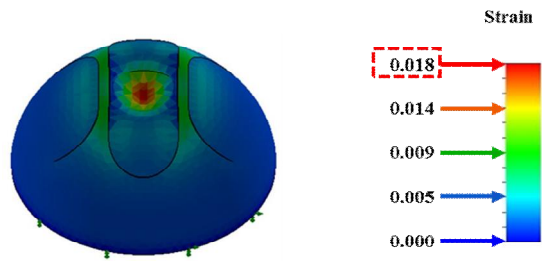


(a) 1st 2-1-1 Model

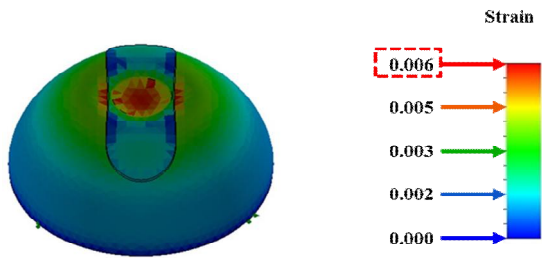


(b) 3rd 4-3-3 Model

Fig. 4 Calculated displacement of the 1st and 3rd safety helmet shell models



(a) 4th 2-2-3 Model



(b) 5th 3-3-1 Model

Fig. 5 Calculated strain of the 4th and 5th safety helmet shell models

Table 5의 9가지 산업용 안전모에 대한 변위 해석 결과 중에서 안전모에 가장 큰 변위 4.21mm를 보여준 Fig. 4(a)는 모체 구조물의 두께는 2mm, 빨대 두께는 1mm 및 빨대 개수는 1개로 설계한 안전모이며, 가장 작은 변위 1.61mm를 보여준 Fig. 4(b)는 모체 구조물 두께는 4mm, 빨대 두께는 3mm 및 빨대 개수는 3개로 설계한 안전모이다. 모델 1번의 경우는 비교 모델 변위 2.08mm 대비 2배 이상의 변위가 발생하여 안전모가 손상될 수 있고, 3번 모델은 반대로 변위량이 너무 작아 충격흡수력이 떨어져 안전모를 착용한 작업자에게 충격력이 전달되었다고 볼 수 있다<sup>[4]</sup>.

Table 5의 9가지 산업용 안전모에 대한 변형을 해석결과 중에서 안전모에 가장 큰 변형 0.018을 보여준 Fig. 5(a)는 모체 구조물 및 빨대 두께가 각각 2mm, 빨대 개수는 3개로 설계한 안전모이며, 가장 작은 변형 0.006을 보여준 Fig. 5(b)는 모체 구조물 및 빨대 두께가 각각 3mm, 빨대 개수는 1개로 설계한 안전모이다.

모델 4번의 경우에는 비교 모델 변형을 0.008 대비 2배 이상의 변형율이 발생하여 안전모가 손상되었다. 할 수 있고, 모델 5, 6번은 동일 소재임에도 불구하고 안전모의 두께 및 빨대 두께, 개수를 달리해 변형율이 좋다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 다구찌 실험계획법 Table 5에 따른 9가지 산업용 안전모 모델과 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 비교 모델 0번 Fig. 2 결과를 추가하여 von Mises 최대응력과 S/N비를 비교해서 나타낸 결과이다. 비교 모델 0번을 기준으로 최대응력이 작으면서 S/N비가 큰 설계모델은 3, 5, 6번으로 나타났다.

Fig. 7은 다구찌 실험계획법 Table 5에 따른 9가지 안전모 모델과 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 비교 모델 0번 Fig. 2 결과를 추가하여 최대변위와 S/N비를 비교해서 나타낸 결과이다. 망소특성의 손실함수에 따라 최대변위가 작을수록 S/N비는 크게 나오므로 비교 모델 0번을 기준으로 최대변위가 작으면서 S/N비가 큰 설계모델은 3, 5, 6, 9번인 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 다구찌 실험계획법 Table 5에 따른 9가지 안전모 모델과 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 비교 모델 0번 Fig. 2 결과를 추가하여 최

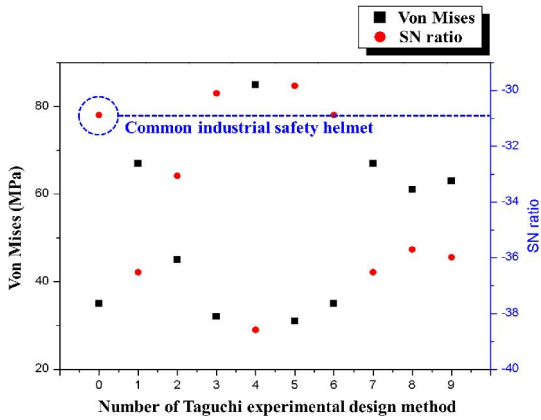


Fig. 6 Maximum von Mises stress and SN ratio of nine Taguchi experimental design method

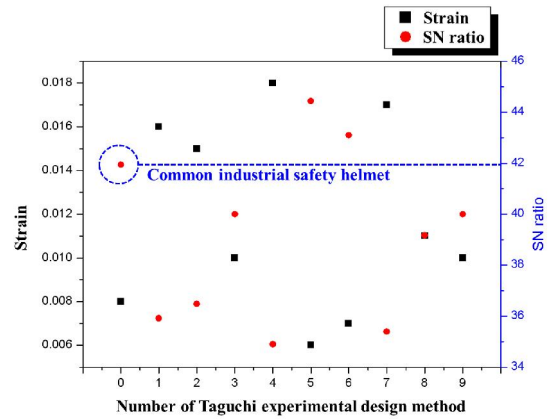


Fig. 8 Maximum strain and SN ratio of nine Taguchi experimental design method

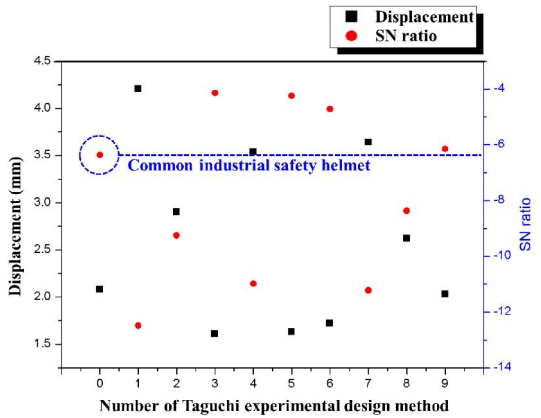


Fig. 7 Maximum displacement and SN ratio of nine Taguchi experimental design method

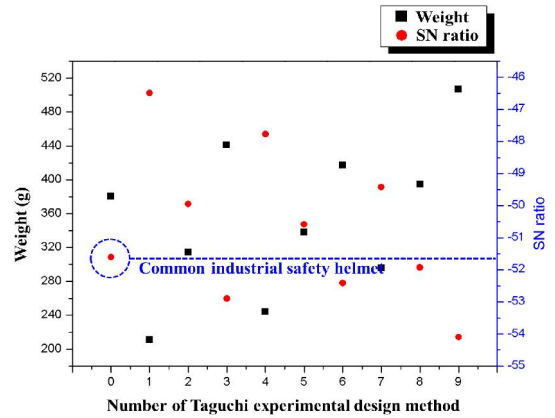


Fig. 9 Weight and SN ratio of nine Taguchi experimental design method

대변형율과 S/N비를 비교해서 나타낸 결과이다. 망소특성의 손실함수에 따라 비교 모델 0번을 기준으로 최대변형율이 작으면서 S/N비가 큰 설계모델은 5, 6번으로 나타났다.

Fig. 9는 다구찌 실험계획법 Table 5에 따른 9가지 안전모 모델과 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 비교 모델 0번 Fig. 2 결과를 추가하여 모체 구조물의 무게와 S/N비를 비교해서 나타낸 결과이다. 망소특성의 손실함수에 따라 비교 모델 0번을 기준으로 무게가 작으면서 S/N비가 큰 설계 모델은 1, 2, 4, 5, 7번인 것을 알 수 있다.

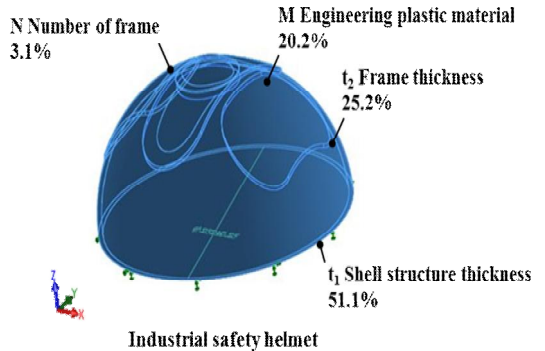


Fig. 10 Structural optimization of affecting stress ratio

**Table 6 Affecting ratio of design factors**

Affecting ratio(%)	Design Factors			
	M	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	N (ea)
Stress	20.2	51.5	25.2	3.1
Displacement	9.1	79.0	10.8	1.1
Strain	19.8	57.7	14.3	8.2
Weight	13.8	84.0	1.5	0.7

산업용 안전모의 FEM 해석결과를 정리해보면 변수로 잡은 응력, 변위, 변형율, 무게는 안전모 모체의 강도안전성, 충격흡수력 및 경량화로 볼 수 있으며, 먼저 응력 부분에서는 3, 5, 6번이 안전하고 변위 측면에서는 3, 5, 6, 9번이, 변형율 측면에서는 5, 6번이며, 무게 측면에서는 1, 2, 4, 5, 7번으로 나타났다.

본 연구에서 다구찌 실험계획법으로 정리한 산업용 안전모 9가지 모델 중 응력, 변위, 변형율, 무게 모든 측면에서 현재 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 상용 안전모보다 다구찌 실험계획법의 5번 모델이 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 해당 산업용 안전모 모체 구조물의 소재는 PA66이며, 두께(t<sub>1</sub>)는 3mm, 빨대 두께(t<sub>2</sub>)도 3mm이고, 빨대 개수(N)는 1개인 모델이다.

Table 6은 산업용 안전모의 설계인자들이 응력, 변위, 변형율, 무게에 미치는 기여도를 나타낸 결과이다. 응력 부분에서는 산업용 안전모 모체 구조물의 두께가 51.5%로 가장 높은 영향을 주고, 빨대 두께가 25.2%, 소재가 20.2%, 빨대 개수가 3.1% 순으로 영향을 주고 있으며, 응력에 대한 설계인자 기여도를 정리하면 Fig. 10과 같다. 변위 및 변형율 부분에서는 모체 구조물의 두께가 각각 79%, 57.7%로 가장 큰 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다. 무게 부분에서도 모체 구조물의 두께가 84%로 매우 높은 영향을 주고, 소재가 13.8%, 빨대 두께가 1.5%, 빨대 개수가 0.7% 순으로 영향을 주고 있다.

Table 6을 정리해 보면 경량화 측면에서는 모체 구조물의 두께를 줄이는 것이 중요하지만, 응력, 변위, 변형율 등 강도안전성 및 충격흡수력 부분

에서는 두께를 늘리는 것이 중요하기 때문에 4mm 이하의 적절한 모체 구조물의 두께에 정상 부에 충격흡수를 위한 보강빨대를 배치하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다<sup>[15]</sup>.

## 5. 결론

산업현장 2~4m의 고소작업에서 유일한 개인보호구로서의 산업용 안전모에 대해 강도안전성, 충격흡수력 및 경량화 관점에서 모체 구조물에 엔지니어링 플라스틱 소재 및 보강빨대의 형상에 변화를 주어 다구찌 실험계획법을 도입해 구조해석을 실시한 결과, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

ABS-PC 소재에 보강빨대가 없는 MP형 산업용 안전모와 비교분석한 결과, 9가지 모델 중 보강빨대가 1개인 5번 모델이 안전모의 최대응력은 4Mpa, 변위는 0.45mm, 변형율은 0.002, 무게는 42g 줄어들었다. PA66 소재로 안전모 모체 구조물 및 빨대의 두께(t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>)는 각각 3mm, 빨대 개수는 1개인 안전모가 강도안전성, 충격흡수력 및 경량화 측면에서 가장 유리하다는 것을 알 수 있었다. 또한 산업용 안전모의 설계인자 중 모체 구조물의 두께가 응력, 변위, 변형율 및 무게에 51~84%까지 가장 높은 영향을 주고 있었다. 따라서 엔지니어링 플라스틱을 적용한 산업용 안전모의 구조최적화는 소재별 물성치에 따라 4mm 이하의 적절한 모체 구조물 두께를 설계하는 것이 가장 중요하다는 결과를 제시하였다.

## REFERENCES

1. Oh, M. O., Shin, J. K., Kang, M. C., Shin, B. S. and Moon, M. K., "Importance Performance Analysis for Developing Convergence Firefighter Helmets" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 109~114, 2016.
2. Kim, J. H., "A Study on Protective Purposes and Intents of use of Safety Helmets as for Reduction of Falls" Journal of the Korean Society of



- Safety, Vol. 28, No. 5, pp. 83-89, 2013.
- Bethancourt, J. and Cannon, M., "Fall protection structural efficacy of residential structures for fall protection systems" Professional Safety, Vol. 60, No. 05, pp. 58-64, 2015.
  - Kim, S. C., Ro, Y. S., Shin, S. D. and Kim, J. Y., "Preventive effects of safety helmets on traumatic brain injury after work-related falls" International journal of environmental research and public health Vol. 13, No. 11, pp. 1063, 2016.
  - Chang, L. T., Chang, G. L., Huang, J. Z., Huang, S. C., Liu, D. S. and Chang, C. H., "Finite element analysis of the effect of motorcycle helmet materials against impact velocity" Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 26, No. 6, pp. 835-843, 2003.
  - Yu, B. M., Song, J. S., Kim, D., Lee, S. K. and Kim, Y. H., "Investigation for Impact Stability of the Motorcycle Helmet by Using Finite Element Method", Transactions of Materials Processing, Vol. 16, No. 5, pp. 370-374, 2007.
  - Choi, K. I., Chung, M. K. and Chung, M. Y., "FEM analysis for safety evaluation and design of the baseball helmet" Journal of The Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 1994, No. 10, pp. 458-465, 1994.
  - Kim, H. G., Shim, J. H. and Kim, C. K. "A Study on the Strength Analysis of the Helmets for Fire and Gas Safety" Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 12, No. 3, pp. 31-37, 2008.
  - Cho, S. H., Kim, D. H. and Kim, C. K., "A Study on the Optimized Design of the Helmets for Fire and Gas Safety." Journal of The Korean Institute of Gas Vol. 12, No. 3, pp. 24-30, 2008.
  - Szeteiová, K., "Automotive materials plastics in automotive markets today" Institute of Production Technologies, Slovak University of Technology Bratislava, 2010.
  - Kwon, H. R., Kim, D. E., Son, H. D., Shin, J. W., Park, J. H. and Kang, M. C., "Optimization of Inner Nitriding Process for Cr-Mo-V Steel of Small Arms Barrel by using Taguchi Experimental Design Method" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 148-154, 2018.
  - "Notice of Safety Certification of Employment Ministry of Labor" Retrieved 14, Nov., 2017, from <https://www.moel.go.kr>
  - Jeong, I. D., Lee, Y. M., Oh, M. O., Kim, S. C., Lee, T. G. and Kang, M. C., "Development of Skin Type Airbag Helmet through Consumer Oriented Concept Design and the Cushion Part's Impact Analysis" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 101-108, 2016.
  - Kang, H., Jang, J. S., Kim, D. H., Kang, J. H., Yoo, W. S. and Lee, J. W., "Prediction of Impact Energy Absorption in a High Weight Drop Tester by Response Surface Methodology" Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 3, pp. 44-51, 2016.
  - Na, Y. M., Park, J. K., Lee, H. S., Kang, T. H. and Park, T. G., "Development of Protective Device for Quadcopter on Impact" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 63-69, 2015.