



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

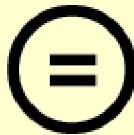
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

산업용 안전모의 성능개선에 관한 연구



2024년 2월

국립부경대학교대학원

안 전 공 학 과

심 상 우

공 학 박 사 학 위 논 문

산업용 안전모의 성능개선에 관한 연구

지도교수 장 성 록

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.

2024년 2월

국립부경대학교대학원

안 전 공 학 과

심 상 우

심상우의 공학박사 학위논문을 인준함.

2024년 2월 16일

주 심 공학박사 이 의 주 (인)

위 원 공학박사 신 성 우 (인)

위 원 공학박사 이 종 빈 (인)

위 원 공학박사 오 현 수 (인)

위 원 공학박사 장 성 록 (인)

목 차

1. 서론	1
1.1 연구 필요성 및 목적	1
1.2 연구내용 및 방법	5
2. 이론적 배경	7
2.1 안전모의 개요	7
2.1.1 안전모의 종류	9
2.1.2 안전모의 형태	11
2.2 국가별 안전모의 사용 목적	12
2.3 안전모의 사용성과 성능 한계에 관한 선행연구	16
2.4 안전모의 전달 충격력 이론	20
3. 안전모 사용성 향상을 위한 설문조사	26
3.1 설문 연구 절차	26
3.1.1 설문 개발	28
3.1.2 설문조사 방법	31
3.1.3 설문 분석 방법	34

3.2 설문 분석 결과	35
3.3 안전모 사용성에 관한 고찰	55
4. 충격 흡수성 시험 연구	58
4.1 충격 흡수성 시험의 필요성	58
4.2 충격 흡수성 시험방법	65
4.2.1 시료 안전모	65
4.2.2 시험 장비 및 과정	67
4.2.3 시험 설정	71
4.3 충격 흡수성 시험 결과	73
4.3.1 충격 흡수성 시험 결과 분석	73
4.3.2 측면 충격 흡수성 시험 결과 분석	75
4.4 안전모 충격 흡수성 시험에 관한 고찰	77
5. 결론	78
5.1 결론	78
5.2 연구의 한계점과 향후 연구	85

참고문헌	86
부록	96
A. 안전모 성능 및 디자인 결정 요인 설문지	96



Figures

Fig. 1 Safety helmet shape and indication of safety certification	10
Fig. 2 Safety helmet type	11
Fig. 3 Procedure of the study	27
Fig. 4 Result on the question: Have you ever had an unpleasant or stressful experience because of the smell from the chinstrap?	42
Fig. 5 Result on the question: If you're not sure, do you think having a feature that allows you to adjust the safety glasses upwards (detachable function) by shortening the brim is necessary?	45
Fig. 6 Result on the question: Have you ever experienced a foul odor from sweat on the forehead of the headband?	47
Fig. 7 Result on the question: Have you ever had an unpleasant or stressful experience because of the smell from the chinstrap?	50
Fig. 8 Result of the question: Do you want your safety glasses to have light-blocking features?	52
Fig. 9 The impact area on the safety helmet from the accident	60
Fig. 10 Safety helmets are safety-certified products of type A-E	66
Fig. 11 Safety helmet shock absorption test device	69
Fig. 12 S Typical impact energy attenuation test apparatus	70
Fig. 13 Safety helmet shock absorption test results	74

Tables

Table 1 Safety helmet certification types	10
Table 2 Standards and purposes of safety helmet by country	13
Table 3 Conduct safety helmet standard tests and impact energy by country	21
Table 4 Structure of questionnaire	29
Table 5 Social and demographic composition	33
Table 6 Survey total questions and response rate	36
Table 7 Subjective opinions regarding performance areas	54
Table 8 A construction company focused on the direct impact of safety helmet during work-related accidents	59
Table 9 Construction of tested safety helmets	66
Table 10 Test equipment	67
Table 11 Safety helmet impact point	72
Table 12 Side impact absorption test results and averages	76

A study on improving the performance of industrial safety helmets

Sang Woo Shim

Department of Safety Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Since safety helmets are designated as protective equipment to prevent fall accidents under domestic law, a literature review of domestic and foreign laws and related norms and standards was conducted to identify inconveniences and problems caused by wearing safety helmets and to explore elements necessary for performance improvement. In addition, 50 ABE-type safety helmets commercially available from five domestic manufacturers were used in the safety helmet shock absorption test, and the protective performance and role of the safety helmet were presented through a side impact absorption test without performance standards.

Regarding the designation of safety helmets as fall risk prevention protective equipment stipulated in the Occupational Safety and Health Act, the following improvements were confirmed in terms of the function and definition of safety helmets.

1) As a result of analyzing the purpose of use of safety helmets

by country, the purpose of safety helmets used in industrial sites in the European Union, the United Kingdom, and the United States, excluding Korea, is to prevent the risk of falling, flying, shock, or electric shock and is used as protective gear to prevent falling accidents. Since it is not recognized, it was found that it is not recognized as fall risk prevention protective equipment.

2) Safety helmets are designed to protect the top of the head from impacts, falls, and flying debris by each country's safety helmet performance standards. To ensure this protection, safety helmets must be able to withstand impact energy values in the range of 49 to 100 J and free fall velocities between 4.427 and 5.458 m/s in friction-less conditions. It is proposed that Korean law should be amended to specify that hard hats designated as fall protection equipment are for impact protection and must be used only for that purpose.

3) Even if protective gear is not used at industrial sites, measures such as facility improvement are necessary to protect workers from harmful and dangerous work. However, there is a need to improve the structure of industrial sites by omitting step-by-step fall prevention measures to prevent fall risks and relying only on the distribution and wearing of the cheapest and easiest to provide safety helmets, through which fall risks can be prevented.

A questionnaire was sent to 300 construction site workers in 6 cities and 9 regions of the country who voluntarily agreed to participate. I faxed 260 copies of the original and sent a photo of

the response as a reply. Of these, 260 questionnaires were returned, excluding 40 with insufficient information, and were answered in all items, including those expressing subjective opinions.

1) For an integrated safety helmet and safety eye-wear, a light-blocking function is required that removes the brim of the safety helmet and adjusts the safety glasses, it has been shown that people are stressed by the sweat and bad odors generated by headrests and chin straps.

2) Subjective opinions on performance improvement included the introduction and procedures of high-end safety helmets used in developed countries, side impact strength on the side of the safety helmet, and lightening of the safety helmet.

A test was conducted on 50 ABE-type safety helmets distributed domestically in accordance with the Protective Equipment Safety Certification Notice No. 2020-35, and the maximum impact energy value was measured. In addition, although there are no performance standards, the side impact range of the safety helmet was arbitrarily set and an optimized side impact absorption test was conducted.

1) According to the safety helmet test performance standards under the Protective Equipment Safety Certification Notice No. 2020-35, the maximum transmitted impact force of the safety helmets of the five companies distributed in the market did not exceed 4,450N It was confirmed that the performance standards

were met as the functions of the mother body and attachment were not lost.

2) Safety helmet side impact energy attenuation test, the average for each of the five manufacturers was analyzed to be 4,722~5,267N.

3) According to national safety helmet testing standards and specifications, the maximum transmitted shock value for safety helmets does not exceed 4,450~5,000N, so this value range seems lower or lower than the limit.

After examining the reasons why hard hats are ineffective in preventing falls, we decided that the results could be used to suggest legislative changes. In addition, a new safety helmet model was proposed through research on factors affecting construction workers' wearing of safety helmets. It was confirmed that the safety helmets of the five companies currently in use meet the performance standards as the maximum transmitted impact force does not exceed 4,450N, so the functionality of the helmet and the wearer is not lost. Meanwhile, although there are no standards for the side impact force of safety helmets in domestic law, it has been confirmed that the side impact force of safety helmets is more vulnerable than that of government safety helmets.

In the future, it is expected that the introduction of a safety helmet side impact performance test method will contribute to reducing industrial accidents through comparative testing of safety helmets used in various forms at home and abroad.

제 1 장 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

2021년 정부 차원에서는 산업안전보건법 전면 개정이 시행되면서 하도급 금지, 공정거래위원회의 승인 등 하도급을 포함한 안전보건 관리 책임의 중요성을 강조하고 있다. 이후 원도급업체의 책임 범위 및 처벌도 증가하고 있다. 안타깝게도 현실에서는 중대 산업재해가 발생하면 시설 부족, 안전 수칙 미준수 등 위법 사례가 지적되고 처벌되는 경우가 많다¹⁾.

이는 산업안전보건법의 특성상 외부에서 명백히 드러나는 구체적이고 기술적인 사항을 다루어야 하는 한계가 있기 때문이라고 할 수 있다. 물론 위법 행위를 처벌하고 개선하는 것도 중요하지만, 중대 산업재해가 다시 발생하지 않도록 하기 위해서는 재해의 근본 원인을 사업장의 구성원들이 이해하고 이를 개선하는 노력이 필요할 것이다²⁾.

또한, 국내 산업현장의 안전 역량을 향상하기 위한 노력에도 불구하고 중대 재해 처벌 등 적용 사업장의 재해 사망자 수는 여전히 증가한 것으로 나타났다³⁾. 22년 산업재해 현황을 보면 전체 재해 사망자의 53%가 건설업에서 발생하였으며, 그중 66%의 근로자가 떨어지(추락)거나 물체(낙하)에 맞아 사망한 것으로 확인 되었다⁴⁾.

떨어지(추락)는 사고는 고층빌딩 등 높거나 깊은 곳에서 떨어지(추락)는 경우, 계단이나 경사면에서의 떨어지(추락)는 경우, 비계, 지붕, 사다리, 고소 작업대에서 작업하던 중 떨어지(추락)는 경우 등이 포함된다. 이처럼 사망원인은 여러 가지 요인에 따라 다르며, 부상의 유형과 정도도 마찬가지로 다르며, 이 모든 재해를 별도로 기술할 필요가 있을 것으로 보인다⁵⁾.

또한, 특정 높이에서의 추락으로 인한 부상 및 사망에 대한 사고조사 및 D/B가 부족하다는 지적들이 여러 연구에서 발견되고 있기 때문이다⁶⁾. 이는 근로자가 떨어진 높이를 기준으로 부상 정도를 예측할 수 없고, 부상 위치에 대한 구체적인 데이터가 없는 경우가 많아, 일반적으로 환자 스스로가 호소하는 기본 통증 부위를 대상으로 정밀 검진을 받아 부상의 정도를 늦게 발견하는 경우가 많아 2차 재해로 이어질 수 있기 때문이다.

현재 통계에 따르면 떨어지(추락)는 사고로 인한 부상은 주로 머리와 목에 집중되어 있으며, 이러한 부위에 부상이 발생하면 부상이 심각하고 회복하기 어렵다⁷⁾. 따라서 산업현장 종사자들은 현장 활동을 수행하면서 낙하물과의 충돌, 비래(飛來), 낮은 높이에서의 추락 등에 노출되어 자신의 안전을 보장할 수 없는 위험한 환경에서는 자신을 보호할 수 있는 최소한의 개인보호장비가 매우 필요한 상황이다.

개인보호장비는 안전을 위한 최후의 수단으로 여겨지며 지급과 사용이 법적으로 강제하지만, 불편함을 유발하고 작업 생산성에 영향을 미칠 때는

착용하지 않거나, 오용하는 경우가 많다⁸⁾. 최근에는 사용자 편의성 향상을 위해 개인의 특성을 반영한 개인보호장비 디자인의 중요성이 강조되고 있다⁹⁾. 또한, 개인보호장비의 편안함을 정량적으로 분석한 결과, 근로자 중 8%만이 개인보호구가 편안하다고 응답하였으며, 이를 보완하기 위한 착용성 및 인간공학적 디자인의 개선점들이 여러 연구에서 시사되고 있다¹⁰⁾. 따라서, 근로자들에게 개인보호장비를 제공하여 목적과 사용의 용이성을 확보해야 하며, 산업현장에서는 안전 인증 보호장비를 사용하여 근로자를 재해로부터 보호받을 수 있도록 최소한의 역할이 필수적이다¹¹⁾.

본 연구의 목적은 근로자가 머리 위험을 예방하거나 감소시키기 위해 필수로 착용하는 다양한 종류의 개인보호장비 중 산업용 안전모의 성능을 개선하는 것이다. 이에 본 연구에서는 안전모의 사용 목적이 추락위험방지용으로 적합한지 알아보기 위해 안전모와 관련된 국내외 법규 및 관련 문헌을 조사하였다. 따라서 근로자가 착용하는 안전모에 대해 보호 목적, 사용 기준, 성능분석을 통해 안전모의 보호 성능과 역할을 제시하고자 한다.

다른 산업과 비교해 개인보호장비 사용 비중이 높고 자주 그리고 오랜 시간 동안 착용할 수밖에 없는 건설업 종사자의 안전모 사용성 실태조사를 분석하여 안전모 성능개선을 위한 기반을 마련하였다. 지금까지의 안전모와 관련된 선행연구들은 대부분 안전모의 형태와 기능을 아무런 비판 없이 받아들였으나, 현재의 건설 현장에서 안전모 착용 시 불편함과 문제점을

분석하여 다양한 성능을 개선하고, 이를 바탕으로 안전모 디자인에 관한 관심도 높아지고 있는 현실을 확인하였다.

또한, 국내 5개 제조사가 시중에 판매하는 ABE 형 안전모 50개를 대상으로 충격 흡수성 시험을 진행했으며, 성능 기준이 없는 안전모의 측면에 대해서도 최고 충격흡수량을 시험을 시행하였다. 따라서 본 연구에서는 근로자의 머리를 보호하는 중요한 요소인 보호 성능을 개선하고 향상할 수 있는 안전모 디자인 설계를 위한 기초 자료를 제공하기 위함이다.



1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 추락위험 방지를 위한 보호구인 안전모에 관한 규정을 고려하여 국내외 관련 법규를 검토하고, 국가별 안전모 법규를 비교 분석하였다. 또한, 사망사고 발생률이 가장 높은 건설업 종사자가 사용하는 산업용 안전모에 대해 설문조사, 분석, 시험을 시행하였으며, 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

1) 이론적 배경

우리나라 법률을 통해 안전모의 정의 및 안전 인증 기준을 알아보고, 시중에 유통되는 산업용 안전모의 종류, 형태, 용어 등을 살펴보고자 한다. 또한, 국내외 논문 및 보고서를 비교하여 목적, 사용기준에 관한 내용을 본 연구에서는 관련 문헌을 검토하고 적용되는 관련 규정을 연구하였다.

2) 안전모 사용성 향상을 위한 성능 및 디자인 결정 요인 분석

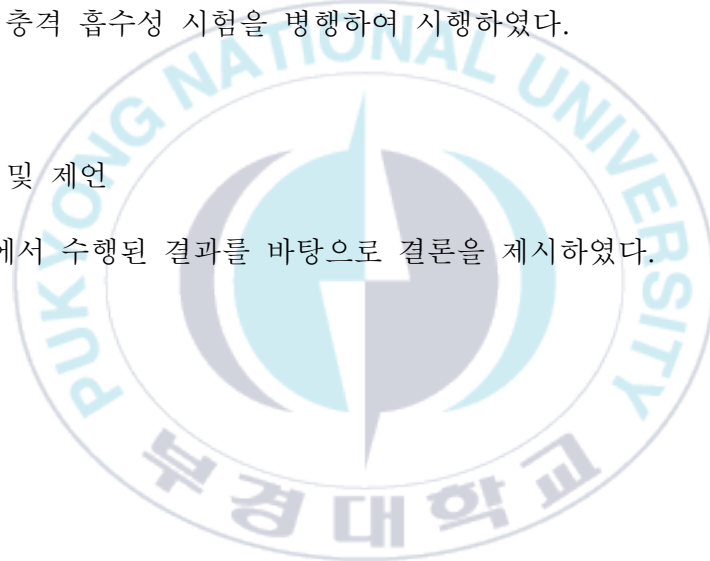
건설 현장에 유통되고 있는 보호구 사용 흐름에 대한 의견을 수렴하기 위해 안전모 제조 및 판매자와 심층 면담을 시행하였고, 동시에 건설업 안전모 지급 및 선행연구에서 요구하는 특성과 요인을 분석하였다. 이를 토대로 건설업 종사자에 대한 설문, 관찰 및 면담한 결과를 제시하였다.

3) 안전모의 충격 흡수성 성능 향상을 위한 시험

본 연구에서는 안전모의 충격 흡수성 시험개선을 위해 개인보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따라 국내 5개 제조사가 보호구 안전 인증을 통과한 ABE 형 안전모 50개를 대상으로 충격 흡수성 시험을 시행하여 최고 전달 충격력 값을 도출하는 분석을 하였다. 현실적인 재해예방에 필요한 데이터를 얻기 위해 안전모의 측면 충격 범위를 임의로 설정하여 최적화된 측면 충격 흡수성 시험을 병행하여 시행하였다.

4) 결론 및 제언

본 연구에서 수행된 결과를 바탕으로 결론을 제시하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 안전모의 개요

우리나라 법령 중 산업안전보건법 시행령 제74조(안전 인증 대상 기계 등) 제1항 제3호 가목의 보호구를 유해·위험 기계 등 중 근로자의 안전 및 보건에 위해(危害)를 미칠 수 있다고 인정되어 대통령령으로 정하는 규정에 맞는지를 대하여 고용노동부 장관이 시행하는 안전 인증을 받아야 한다¹²⁾. 동 법 산업안전보건기준에 관한 규칙 제32조 제1항 제1호에서 안전모의 정의는 ‘물체가 떨어지거나 날아올 위험 또는 근로자가 추락할 위험이 있는 작업 시 근로자 수 이상으로 지급하고 착용하도록 하여야 한다’라고 명시되어 있다¹³⁾.

동 법 시행령 제77조의5(자율안전 확인 대상 기계 등) 제1항 제3호 가목은 제74조 제1항 제3호 가목의 안전모는 제외하고 안전모가 자율안전 확인 대상임을 규정하고 있다¹⁴⁾. 또한, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제32조(보호구의 지급 등) 제1항 제1호에서는 추락 및 감전 위험방지용 안전모를 보호구로 규정하고 있고, 같은 항 제2호에서는 높이 또는 깊이 2m 이상의 추락할 위험이 있는 장소에서 하는 작업은 안전대를 보호구로 규정하고 있다.

제33조(보호구의 관리)에서는 안전모는 사업주의 사용관리 및 청결 유지 의무 대상 보호구는 아님을 규정하고, 제186조(고소 작업대 설치 등의 조치) 제4항 제1호에서는 고소 작업대를 사용하는 경우 ‘작업자에게 안전 모·안전대 등의 보호구를 착용하도록 할 것’을 규정하고 있다¹⁵⁾.

최종적으로, 산업안전보건법에서는 보호구보다는 ‘설비개선 등의 보호조치를 우선으로 취해 근로자가 유해·위험한 작업으로부터 보호받아야 한다’라는 원칙을 제시하고 있다.



2.1.1 안전모의 종류

안전모는 종류에 따라 고용노동부 보호구 안전 인증 고시(인증서) 제2020-35호와 보호구 자율안전 확인 신고(증명서) 제2020-36호로 구분된다. 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호는 유해하거나 위험한 기계·기구·설비 및 방호장치·보호구(이하 "유해·위험 기계 등"이라 한다)의 안전성을 평가하기 위하여 그 안전에 관한 성능과 제조자의 기술 능력 및 생산 체계 등에 관한 기준을 정하여 고시하여야 하며, 안전 인증 기준은 유해·위험 기계 등의 종류별, 규격 및 형식별로 정할 수 있다¹⁶⁾.

보호구 자율안전 확인 신고(증명서) 제2020-36호는 안전 인증 대상 기계 등이 아닌 유해·위험 기계 등으로서 대통령령으로 정하는 것을 제조하거나 수입하는 자는 자율안전 확인 대상 기계 등의 안전에 관한 성능이 고시하는 안전기준에 맞는지 확인하여 신고하여야 한다¹⁷⁾.

Fig. 1은 산업현장에서 사용자의 머리를 보호하기 위해 착용하는 보호구인 안전모의 형상과 안전 인증 표시이다. 또한, 산업용 안전모는 사용기준에 따라 Table 1과 같이 분류할 수 있으며, 산업현장에서는 추락, 낙하 및 감전에 의한 위험을 방지 또는 경감시키는 ABE 형 안전모를 가장 선호하고 있는 것으로 확인되었다.



출처 : 한국산업안전보건공단

Fig. 1 Safety helmet shape and indication of safety certification

Table 1 Safety helmet certification types

Regulation	Safety certified product			Autonomous safety confirmation declaration product
Type	ABE flying, falling, falling, electric shock	AB flying, falling, falling	AE flying, falling, electric shock	A flying, falling
Purpose	Prevention or reduces the risk of falling or flying objects, falls, and electric shock to the head.	Prevention or reduces the risk of falling or flying objects, falls,	Prevention or reduces the risk of falling or flying objects and electric shock to the head.	Prevention or reduces the risk of falling or flying objects
Material of the matrix	ABS	ABS	ABS	ABS, Synthetic resin
Voltage resistance	Voltage resistance	Non-voltage resistance	Voltage resistance	Non-voltage resistance

ABS: Acrylonitrile Butadien Styrene.

Voltage resistance refers to withstanding a voltage of 7,000V or less.

2.1.2 안전모의 형태

국내 산업현장에 유통되는 산업용 안전모는 형태에 따라 Fig. 2와 같이 구분되며, 뿔대(Frame)가 없는 MP(Military police) 형과 뿔대가 있는 투구(Knight)형으로 크게 구분되며, MP 형 안전모는 군사경찰들이 사용하는 전투모에서 본떠 디자인과 유래를 찾을 수 있다. 차양이 길지 않아 좁은 공간에서도 시인성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 투구형 안전모는 산업현장에서 가장 일반적인 디자인이며, 용접면, 방음보호구 등을 장착할 수 있다. 또한, 전면 차양형 안전모는 낙하물이 발생할 가능성이 적은 토목공사 현장이나 밀림 지역에서 주로 사용된다.



Fig. 2 Safety helmet type

2.2 국가별 안전모의 사용 목적

국가별 안전모의 기술기준과 규격 중 안전모의 사용 목적을 살펴보면 안전모 사용자의 머리 윗부분을 충격, 낙하·비래(飛來), 감전 등의 재해로부터 보호하기 위한 것으로 명시했다. 다른 나라의 기술기준이나 규격과 달리 우리나라는 ‘추락위험방지용’으로 안전모의 보호 목적을 지정하고 있다는 것은 특이한 사항이라 할 수 있다. 따라서, 국내에서만 사용되고 있는 ‘추락위험방지용’이라는 용어의 타당성을 다각적으로 검토할 필요가 있을 것으로 보인다¹⁸⁾. 국가별 안전모의 사용 목적을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Standards and purposes of safety helmet by country

Standards	Purpose
MOEL 2020-35*	For preventing fall and electric shock hazard
KS G 6805:2021	For preventing or mitigating hazards caused by flying or falling objects and for preventing hazards caused by electric shock in the head area
ISO 3873:2012	For preventing the upper part of a wearer's head against a blow.
EN 397:2013	Primarily to provide protection to the wearer against falling objects and consequential brain injury and skull fracture.
EN 812:2012	Unlike industrial helmets, bump caps are intended only to protect the wearer from static objects (e.g. walking into low ceilings or hanging obstructions)
EN 14052:2012	Protection against falling objects and off crown impacts and the consequential brain injury, skull fracture and neck injury.
ANSI/ISEA Z89.1-2014	Establishes minimum performance requirements for protective helmets that reduce the forces of impact and penetration and that may provide protection from electric shock.
JIS T 8131:2000	Protection of head against flying or dropping objects, tumbling and falling down.

* MOEL 2020-35 means Notification 2020-35 of Ministry of Employment and Labor

우리나라 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 물체가 떨어지거나 날아올 위험 또는 근로자가 추락할 위험이 있는 작업에서는 안전모를 지급하고 착용하도록 규정하고 있다. 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 안전모 관련 규정은 4개(제31조, 제32조, 제33조 및 제186조) 항목이며 추락 방지 조치를 위한 지급, 착용을 규정한 부분은 제32조 제1항 제1호와 제186조 제4항 1호로 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 안전모를 ‘추락위험 방지용’ 으로 규정되어 있다.

유럽 연합법규 89/686/EEC(European Economic Community)은 개인 보호 장비 인증 절차에 관한 규정은 추락용 보호구는 안전대와 부속 설비로 규정하고 있다¹⁹⁾. 또한, 2001/45/EC(European Community)는 산업 현장에서 활용되는 작업 설비의 최소 안전보건 기준을 규정한 89/655/EEC을 개정된 규정으로 추락 방지 조치로 작업 설비 외에 ‘추락 방지를 위한 개인용 보호구로 안전대 및 부속 설비’ 규정을 명시하고 있다²⁰⁾.

영국 법규 CHR(Construction Head Protection Regulations) 1989는 건설 현장에서의 머리 보호구에 관해 규정에서 머리에 대한 재해 우려가 있다면 적절한 머리 보호구 착용 조치의 이행을 규정하고 있다²¹⁾. 또한, PPEWR(Personal Protective Equipment at Work Regulations) 1992에 근거한 Guidance on Regulations 1992 No. 2966, L25에서 안전모를 목적에 따라 구체적인 역할을 다음과 같이 설명하고 있다²²⁾. (a) 산업용

안전모는 낙하 또는 고정된 물체에 충격 보호 및 제한적인 내화성능을 제공하고, 교류 440V까지의 전압으로부터 보호; (b) 경량 안전모는 머리 부딪침(고정된 물체에 걸어가면서 충격) 시 보호와 머리카락 말림 방지; (c)~(e) 에서 소방관용, 운송(오토바이, 자전거)용, 레저(승마, 카누)용 안전모 목적에 대한 보호 성능을 설명하고 있다. 안전모의 사용 목적을 다양한 분야별로 조사한 WAHR (Work at Height Regulations) 2005에서는 안전모를 추락 보호 시스템으로 규정하지 않는다²³⁾.

미국 법규 29 CFR (Code of Federal Regulations) 1910.135는 떨어지는 물체로 인해 머리에 상처를 입을 가능성이 있는 영역에서 작업할 때 안전모를 착용하도록 사업주 의무 사항으로 정하고 있다²⁴⁾. 또한, 29 CFR 1926.100은 건설과 관련한 작업으로 인한 충격, 낙하·비래(飛來), 감전 및 화상으로 인한 머리 부상의 위험이 있는 영역에서 작업 시 근로자는 안전모를 착용하여야 한다고 규정하고 있다²⁵⁾.

일본의 노동안전 위생 규칙에서는 추락에 의한 위험을 방지하기 위해 안전모를 착용하게 하는 기준으로 하역운반 기계작업 중 단위 중량 100kg 이상의 짐을 이동하는 불도저 작업을 할 때는 사업주에게 안전모 사용 상황을 감시하도록 하였고, 최대적재량 5t 이상의 화물자동차에 짐을 싣거나 내리는 작업을 하는 경우 사업주와 근로자 모두에게 안전모 착용에 관계된 각각의 의무를 규정하였다.

2.3 안전모의 사용성과 성능 한계에 관한 선행연구

김진현(2012)은 ‘추락보호구로서의 안전모 관련 기준 등 개정연구’에서 산업현장에서의 안전모와 추락에 대한 개념 및 추락용 보호구로서 안전모의 보호 성능을 검토하고 현행 안전모 관련 법규, 기준의 개정(안) 등을 이론적인 측면에서 연구 되었다¹⁸⁾. 본 연구에서는 앞서 고려된 내용을 검토하고, 국가별 안전모의 규정과 사용 목적에 관한 내용을 확인하였다. 낙하·비래(飛來), 충격, 그리고 감전의 위험을 방지함이며, 추락위험방지용으로는 부적합한 것으로 확인되었다. 특히, 유럽연합 규정에는 추락위험방지 조치로 규정한 작업 설비 외에 추락위험방지를 위한 보호구로 안전대 및 부속 설비를 규정하고 있었다. 현재까지 우리나라를 제외한 선진국에서는 추락위험방지를 위한 보호구로 안전대 및 부대설비만을 개인보호장비로 인정하는 것으로 확인됐다.

정재희 등(2009)은 ‘산업안전 보건 시장·산업의 체계적 육성을 위한 실태조사 및 연구’에서 안전모를 포함한 보호구 및 방호장치 제조, 유통, 사용자에 대한 실태조사를 통하여 시장 활성화 방안을 고려하여 제시 하였다²⁶⁾. 또한, 심미혜 등(2007)은 ‘건설 현장에서의 안전모 착용 활성화 방안’에 관한 연구’에서 건설 현장에서의 안전모 착용에 긍정적인 변화를 일으켰으나, 착용률 및 안전모에 대한 인식 수준은 여전히 미흡하며, 안전모

착용 방법이나 성능 부실 확인 및 불편할 점, 문제점과 애로사항을 분석하여 제안하였으며, 이러한 결과를 통해 안전모에 관한 연구의 여지가 충분한 것으로 생각 된다²⁷⁾.

따라서, 본 연구에서는 선행연구로부터 분석된 안전모에 대한 다양한 문제점과 더불어 건설업 종사자를 대상으로 안전모 사용성 향상을 위한 성능 및 디자인 결정 요인을 알아보고자 설문을 시행하고 그에 대한 분석을 시행하였다.

국외 선행연구에서 Peter Halldin 등(2003)은 ‘안전모 디자인 개선을 위한 연구’에서 안전모 충격시험 장비들이 안전모 정부 수직 충격 병진 가속도만을 고려하고 측면 충격에 의한 병진 가속도 및 회전가속도를 동시에 고려하고 있지 않다고 비판하며, 이 문제에 대한 실험 연구를 진행하였다. 그 결과 충격에너지가 같은 경우에는 순수 수직 충격보다는 측면 충격에서 뇌에 더 큰 영향을 미치게 되며, 뇌출혈과 미만성 축삭 손상을 유발하는 원인은 경사 충격임을 말하고 있다. 따라서 시험 규정에 측면 충격 항목을 포함하는 것이 타당하다고 말하고 있다²⁸⁾.

이에 따라, 본 연구에서는 머리 부분에 가해지는 충격 가운데 상부뿐만 아니라 측면에 대한 충격도 고려하고자 하였다. 이를 통해 향후 우리나라도 안전모 정부 이외의 ‘측면 충격기준’을 안전모 성능 기준에 보호 성능을 포함해 미국의 기준 이상의 보호 성능이 있는 제품을 기대할 수 있다.

산업용 안전모의 보호 성능에 관한 선행연구에서 최용근(1991)은 ‘산업용 안전모의 충격 흡수 이론’에서 충격 흡수성은 무게 및 크기가 제한되고 극히 간단한 안전모의 구조에 충격을 충분히 흡수하는 Bumper 작용까지 하여야 하므로 기준에 합격할 수 있는 안전모를 제작하기 위해서는 여간 어려운 게 아니다²⁹⁾. 이에 안전모 충격 흡수 및 하중에 관한 이론연구들을 토대로 성능개선 시험연구가 필요한 것으로 판단된다.

박만호 등(2018)은 ‘산업용 안전모의 충격하중에 따른 최적 설계’에서 산업용 안전모의 소재 변경과 적절한 안전모 구조물 두께를 설계하는 그것이 측면 충격강도를 높여준다고 제안하였다³⁰⁾. 한편, 한응교(1991)는 ‘소방 안전모의 안전도 평가에 관한 연구’에서 낙하 높이에 따른 탄성력 및 강도 그리고 충격흡수력에 대해 산업용 안전모와 소방용 안전모를 비교한 결과, 항목 대부분에서 소방용 안전모가 양호하다는 결과를 제시하였다. 하지만, 산업용 안전모보다 우수하다고 할 수 있는 소방용 안전모의 경우 국제 수준에는 미치지 못하는 결과를 제시 하였다³¹⁾.

한편, 국외 선행연구에서는 산업용 안전모를 포함한 오토바이용 헬멧^{32,33)}과 야구용 헬멧³⁴⁾, 소방 안전용 헬멧^{35,36)} 등은 목적에 맞는 성능을 향상하기 위해 연구개발이나 비교실험을 통해 기술 구현을 주도하는 반면, 국내 산업용 안전모는 모체 구조물(Shell structure) 형태별로 성능과 효과에 대한 비교실험은 찾아보기 힘든 실정이었다.

이에 본 연구에서는 안전모에 전달되는 충격 이론을 분석하고, 국내 유통되고 있는 안전모 충격 흡수성 시험을 통해 성능을 확인하고자 하였다. 또한, 국내 기준에는 없지만, 안전모 측면 충격 흡수성에 관한 비교시험이 필요하다고 판단되어 이에 관한 결과를 제시하고자 하였다.



2.4 안전모의 전달 충격력 이론

안전모 전달 충격력은 충격 추의 자유낙하로 안전모 정부에 충격을 가하게 되며 정부의 충격점에서의 속도는 자유 낙하운동 관계식을 이용하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다³⁷⁾.

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2, v = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

여기서, m 은 질량(kg), g 는 중력가속도, h 는 높이(m), v 는 속도 (m/s)이다. 운동량과 충격량 관계로 충격 전후 물체 운동량의 변화는 물체가 받은 충격량과 같다³⁸⁾. 또한, 힘은 질량과 가속도의 곱으로 다음의 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다³⁹⁾.

$$F = ma = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서, F 는 힘(N), a 는 가속도(m/s^2), t 는 시간(s), 충격량

$F \cdot \Delta t(N.s)$, 운동량 변화: $m \cdot \Delta v(kg.m/s)$

안전모 전달 충격력에 나온 자유낙하 속도 관계식을 적용하여 본 연구에서는 국가별 안전모 시험 성능 기준에 관한 규정을 포함한 충격 흡수성 시험과 내관통성 시험의 낙하에 의한 충격에너지값과 운동 관계식에 마찰력에 의한 변화조건이 없는 자유낙하 속도를 산출하면 Table 3과 같다.

Table 3 Conduct safety helmet standard tests and impact energy by country

Standards	Test	Striker mass	Falling height	Impact energy (J)	Impact force (N)	Velocity (m/s)
MOEL 2020-35	Shock absorption test	3.6kg	1.52m	53.6	4450	5.458
	Penetration test	0.45kg	3m	13.2	–	7.668
KS G 6805:2021	Shock absorption test	3.6kg	1.525m	53.8	4450	5.467
	Penetration test	0.45kg	3.05m	13.4	–	7.731
ISO 3873:2012	Shock absorption test: equal to EN 397	5kg	1m	49	5000	4.427
	Penetration test: equal to EN 397	3kg	1m	29.4	–	4.427
EN 397:2013	Shock absorption test	5kg	1m	49	5000	4.427
	Penetration test	3kg	1m	29.4	–	4.427
EN 812:2012 (Bump cap)	Impact protection test	5kg	0.25m	12.2	15000	2.213
	Penetration test	0.5kg	0.5m	2.5	–	3.130
EN 14052:2012 (High performance)	Shock absorption test: for crown impact 100J	100J, 5kg	2.04m	100	5000	6.323
	for off-crown impact 50J – only guided fall	50J, 5kg	1.02m	50	5000	4.471

	Penetration test: - 1kg, a flat blade striker	1kg	for crown impact 2.5m, for off-crown impact 2m	24.5 19.6	-	7 6.260
ANSI/ISEA Z89.1-2014	Force transmission test	3.6kg	1.5m	53	4450	5.422
	Apex penetration test	1.0kg	2.45m	24	-	6.929
	Impact energy attenuation test - Additional requirements for Type II	5kg	0.625m	30.6	3780	3.5
	Off-center penetration test - Additional requirements for Type II	1kg	1.276m	12.5	-	5
JIS T 8131:2000	Shock absorption test	5kg	1m	49	5000	4.427
	Penetration test	3kg	1m	29.4	-	4.427
	Impact absorption test - Annex 2	5kg	1m	49	5000	4.427
	Penetration test - Annex 2	1.8kg	0.6m	10.6	-	3.429

※충격에너지는 국가별 표준에 수치가 기술되면 그대로 사용(중력가속도 10m/s^2 or 9.8 m/s^2)하였으며, 수치가 기술되지 않으면 중력가속도 9.8 m/s^2 를 적용하여 계산하였다.

고용노동부 고시 제2020-35호 따르면 3가지 유형(AB, AE, ABE)으로 나누어지고, 보호구 자율안전 확인 고시 제2020-36호 1종(A)으로 나누어진다. 안전모의 보호 목적은 추락, 감전, 낙하·비래(飛來) 등으로 인한 위험을 방지하는 것이다. 안전모 충격 흡수시험에서는 1.52m에서 3.6kg을 떨어뜨렸을 때의 충격에너지는 53.6J, 계산된 중력가속도 값은 9.8m/s^2 , 낙하 속도는 5.458 m/s로 나타났다. 이때 전달되는 최고 충격력이 4,450N을 초과하지 않아야 하며, 모체와 착용체의 기능이 상실되지 않도록 규정하고 있다^{16,17)}.

또한, 한국표준 KS G 6805:2021에서 개정 전 고용노동부 고시를 기준으로 산업용 안전모의 보호 성능을 규정하고 있었다. 특이점으로 안전모를 낙하·비래(飛來)(A), 추락 보호용(B), 전기용(E)으로 구분하고, 5가지 종류는 A, B, AB, AE, ABE 형으로 구분되고 있다⁴⁰⁾.

국제표준 ISO 3873:2012에서 산업용 안전모의 적용 범위를 “사용자의 머리 상부 부분을 충격으로부터 보호” 하는 그것으로 정의한다. 또한, 충격 흡수성 시험에서는 충격 추가 안전모 정부에서만 자유낙하를 하였으며, 충격에너지값은 49J, 자유낙하 속도는 4.427 m/s로 나타났다. 이때 전달되는 최고 충격력은 5,000N을 초과하지 않아야 하며, 내관통성 시험의 경우 정부(crown)를 중심으로 지름 100mm의 범위를 규정한다. 보호 목적은 머리 상부에 충격이 떨어지거나 날아오는 것을 방지하는 것이다⁴¹⁾.

유럽연합표준 EN 397:2013에서 충격에너지값이 49J이고 자유낙하 속도가 4.427 m/s인 산업용 안전모이다. 이때 전달되는 최고 충격력은 5,000N을 초과하지 않아야 하며, 안전모 사용자의 머리 상부 부분을 보호하기 위함으로 규정하고 있다⁴²⁾.

EN 812:2012에서 충격에너지값은 12.2J이고, 자유낙하 속도가 2.213 m/s인 경량 안전모는 충격 흡수성 시험을 위해 머리 모형을 30~60° 기울일 수 있으며, 충격 주는 안전모의 전면과 후면에 대해서 정지된 물체에 부딪칠 때 전달되는 최고 충격력은 15,000N을 초과하지 않아야 한다. 안전모 정부에 대해 충격 흡수성 시험을 하지 않은 이유는 머리 상부로부터 떨어지는 물체로 인한 충격에 대해서는 보호 성능이 없기 때문이다⁴³⁾.

EN 14052:2012에서 고성능 안전모로서 더 높은 수준의 보호 성능을 요구하며, 안전모 정부와 이외 영역의 관통 보호 성능을 추가 표준으로 설명하였다. 충격에너지값은 100J, 자유낙하 속도는 6.323 m/s이다. 정부 이외에 충격에너지값은 50J이고, 자유낙하 속도는 4.471 m/s로 나타났다. 이때 전달되는 최고 충격력은 5,000N을 초과하지 않아야 한다⁴⁴⁾.

유럽연합은 목적에 따라 여러 기준으로 구분하여 사용을 제한하고 있으며, 산업용 안전모의 사용 목적은 낙하·비래(飛來) 인한 충격 시 머리 상부 부분을 보호하는 것으로 규정하고 있다. 그러나 경량 안전모의 경우 머리가 정지된 상태에서 머리가 물체에 부딪힐 때만 보호 성능을 제공한다.

미국표준 ANSI Z89.1-2014에서 안전모를 충격, 비래(飛來) 또는 감전으로부터 제한적인 보호 성능을 갖춘 머리에 착용하는 보호장비로 정의하였다. 성능 기준상 Type I형 머리 정부에 충격에너지값은 53J, 자유낙하 속도는 5.422 m/s이다. 또한, 충격시험 시 충격 추를 자유낙하 시켜 전달되는 최고 충격력은 4,450N을 초과하지 않아야 하며, Type II형의 머리의 정부 이외의 측면 충격에너지값은 30.6J이며, 자유낙하 속도는 3.5 m/s이다. 측면 충격에 대해 지정된 전제 조건은 최고 전달 에너지 값의 평균적인 값이 3,780N을 초과하지 않고 최대 가속도가 150G(1,471m/s²)를 초과하지 않아야 한다는 것이다⁴⁵⁾.

일본표준 JIS T 8131:2000에서 ‘추락 시 보호용’이라는 용어는 삭제되고, 대신 부속서에 ‘전도·전락 시 보호용’이라는 용어로 개정하여 사용하고 있다. 안전모 정부에 충격에너지값은 49J이고, 자유낙하 속도는 4.427 m/s로 나타났다. 이때 최고 전달 충격력이 5,000N을 초과하지 않아야 하며, 보호 목적은 원칙적으로 ISO에 따라 낙하·비래(飛來) 시 보호용이며, 착용자의 머리 상부를 보호하기 위한 것이라고 규정되어 있다⁴⁶⁾.

종합하면, 국가별 안전모 시험 성능 기준에 따르면 최고 충격에너지값은 49~100J, 마찰이 없는 변화조건에서 자유낙하 속도는 4.427~5.458m/s로 산출되었다. 또한, 충격 추에 의한 안전모 정부의 전달된 최고 충격력 값은 4,450~5,000N을 초과하지 않아야 한다는 것을 확인하였다.

제 3 장 안전모 사용성 향상을 위한 설문조사

3.1 설문 연구 절차

국내의 보호구 관련 제조/판매 담당을 통해 건설 현장의 보호구 사용 흐름에 대한 의견과 보호구 관련 애로사항 등을 통해 최대한 많은 정보를 수집하고자 하였다. 또한, 건설업 종사자들을 대상으로 직접 관찰 및 집중 면담을 시행하였으며, 관리자들은 안전모 착용 만족도 및 성능 그리고 디자인 개선에 대해 구두 형식으로 응답하였고, 근로자들은 안전모 착용 실태조사와 사용 시 불편 사항 및 문제점을 인터뷰 형식으로 응답하였다.

국내외 문헌 자료를 통해 건설업 안전모 지급 및 선행연구에서 요구되는 특성과 요인들을 찾아 설문지를 개발하였다. 본 연구의 구성도는 Fig. 3과 같다.

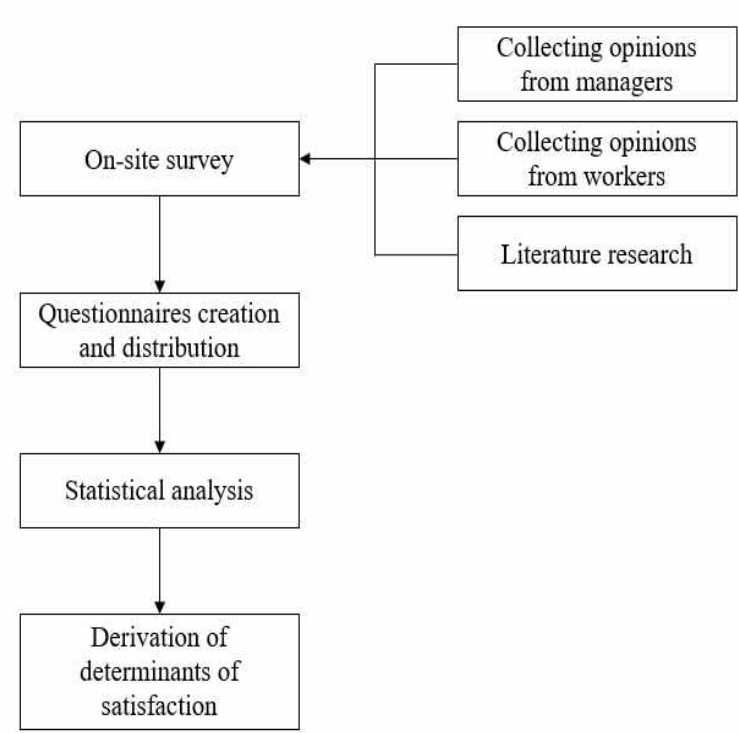


Fig. 3 Procedure of the study

3.1.1 설문 개발

안전모에 대한 의견 수렴을 통한 안전모 구성품의 일반구조와 성능 기준 개선 그리고 만족도까지 총 3가지 범주로 구분하여 설문을 시행하였다. 첫 번째 설문 범주는 안전모의 구성품에 대한 일반구조 문항이 1~4번에 해당하는 것으로 모체, 착장체, 충격흡수재, 그리고 턱끈에 관한 내용으로 구성되었다. 두 번째 설문 범주는 안전모 성능 문항 5~6번에 해당하는 것으로 통기구멍, 충격과 무게에 관한 내용으로 구성되었으며, 세 번째 설문 범주는 만족도 문항 7~10번에 해당하는 것으로 기능개선, 보안경, 안전모 성능, 착용 시간순으로 구성되었다.

설문지는 안전모 구성품의 일반구조와 성능에 관한 의견을 묻는 19항목 (5점 척도: 5 매우 그렇다, 4 대체로 그렇다, 3 보통이다, 2 대체로 그렇지 않다, 1 매우 그렇지 않다)과 안전모 착용 만족도 15항목 (5점 척도: 5 매우 그렇다, 4 대체로 그렇다, 3 보통이다, 2 대체로 그렇지 않다, 1 매우 그렇지 않다) 그리고 안전모에 대한 자유 의견을 기재할 수 있는 1항목으로 구성되었다. 이에 관한 내용은 Table 4와 같이 나타내었다.

Table 4 Structure of questionnaire

Structure	Division	Key word
General Structure	1. Shell	1-1. Brim (awning)
		1-2. Safety glasses
		1-3. Brim (awning) blocks
		1-4. Brim (awning) length
		1-5. Heavy
		1-6. Performance loses
		1-7. UV rays
		1-8. Exchange by impact
	2. Headband & cradle	2-1. Headrest straps
		2-2. Cushioning
		2-3. Blood pressure
		2-4. Sweat
	3. Liner	3-1. Shock absorber
		3-2. Additional function
	4. Chin strap	4-1. Smell
		4-2. Itchiness
		4-3. Chin strap by the impact
Performance	5. Areation	5-1. Areation holes
		5-2. Need
	6. Impact	6-1. Head from impact
		6-2. Heavy

Design Satisfaction	7. Function improvement	7-1. Feature wearing
		7-2. AR safety glasses
		7-3. Air conditioner
	8. Design	8-1. Upregulation
		8-2. Cause stress
		8-3. UV protection
	9. Performance	9-1. Smart function
		9-2. Overall weight
		9-3. Improvement
	10. Wear Satisfaction	10-1. Wearing average
		10-2. Wearing time
		10-3. Drying time
		10-4. Questionnaire to improve
		10-5. Smart helmet is releas

3.1.2 설문조사 방법

본 연구에서는 산업현장 중 건설업 종사자의 안전모 사용성 향상을 위한 성능 및 디자인 결정 요인을 알고자 설문 및 분석을 시행하였다. 설문조사는 6개 도시(경기도, 경북 울진, 부산, 울산, 대구, 대전), 9개소 건설 현장(토목, 주택, 건축, 플랜트) 종사자를 대상으로 시행하였으며, 설문조사에 대한 자발적 참여 의사를 밝힌 300명의 종사자에게 설문지를 발송하여 기재가 미비한 40부를 제외한 260부의 원본 송부, 팩스 및 응답한 설문을 사진 전송 등을 통해 회신 되었다. 260부의 설문지는 주관적 자유 의견을 기재하는 문항을 포함한 모든 항목에 응답하였다.

성별(남, 여), 나이, 경력, 근무 형태(직영, 협력), 건설 형태(건축/주택, 토목, 플랜트/전력), 고용 형태(관리, 현장)로 분류한 계층변수는 Table 5와 같이 나타내었다. 설문조사 대상자의 인적 사항을 조사한 결과 성별에서 남성 94.2%가 건설업에 종사하는 것으로 나타났으며, 전체 인원수의 평균연령(±표준편차)은 46.13세(±11.2)로 나타났다. 연령대별로는 ‘30~39세’의 연령대가 120명(46.1%)으로 가장 높은 빈도로 분석되었다. 다음으로 ‘40~49세’ 64명(24.6%), ‘~29세’ 29명(11.2%), ‘60~69세’ 25명(9.6%), ‘50~59세’ 22명(8.5%)의 연령대로 구성되었다.

전체 설문 조사대상자의 해당 업종에서의 평균 근속연수(±표준편차)는

10.55(± 9.35)년으로 분석되었고 근속연수별로는 ‘10년 이상’ 이 95명 (36.5%)으로 가장 높은 비율로 나타났다. 이어서 ‘1~5년’ 91명(35.0%), ‘6~10년’ 74명(28.5%)으로 구성되었다.



Table 5 Social and demographic composition

Items	Groups	Personal (n)	Distribution (%)
Gender	male	245	94.2
	female	15	5.8
	total	260	100.0
Age	~29	29	11.2
	30~39	120	46.1
	40~49	64	24.6
	50~59	22	8.5
	60~69	25	9.6
	total	260	100.0
Year of career	1~5	91	35.0
	6~10	74	28.5
	over 10	95	36.5
	total	260	100.0
Type of employment	contractor	46	17.7
	sub contractor	214	82.3
	total	260	100.0
Type of construction	architecture (housing)	191	73.5
	civil	15	5.7
	plant (power)	54	20.8
	total	260	100.0
Type of work	manager	75	28.8
	employee	185	71.2
	total	260	100.0

3.1.3 설문 분석 방법

설문을 통해 수집된 자료는 카이제곱 검정을 통해 1점 (매우 그렇지 않다) ~ 5점 (매우 그렇다)으로 응답한 비율의 차이를 관찰하여 설문의 응답 결과를 정량적으로 분석하고자 하였다. 즉, 1~2점의 부정응답과 4~5점의 긍정 응답의 빈도수를 각각 더해서 통계적으로 유의한 차이가 있는지 비교하여 관련성을 평가하고 분석하였다. 해당 방법론은 2장의 방법론과 3장의 결과에 자세히 기술하였다. 또한, 유의수준 (p-value) 0.05 이하일 때 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 판단되며, 통계분석은 미니탭 22 프로그램을 사용하였다.

3.2 설문 분석 결과

설문 통계분석 시 설문 문항은 총 35문항으로 다중응답 문항과 주관식 문항을 제외한 설문 결과는 Table 6과 같이 나타내었다.



Table 6 Survey total questions and response rate

No	Question	Answer					
		Very agreed	Agreed	Neutral	Disagreed	Very disagreed	Total
1-1	Is there a brim (awning) that serves as a covering?	2	7	77	106	68	260
1-2	If you're not sure, do you think it's necessary to have a feature that allows you to adjust the safety glasses upwards (detachable function) by shortening the brim?	64	70	114	9	3	260
1-3	Do you feel that the brim (awning) is dangerous because it blocks a lot of your view?	26	49	90	71	24	260
1-4	Do you think the length of the brim (awning) is appropriate? (Current brim length averages 35mm.)	6	47	155	39	13	260
1-5	Do you think your current safety helmet is heavy?	42	62	119	31	6	260
1-6	How long do you think a safety helmet loses its effectiveness after wearing it? (①3 months, ②6 months, ③1 year, ④2 years, ⑤3 years)	21	30	96	73	40	260
1-7	Is the plastic deformation or physical property change of the safety helmet caused by UV exposure a factor that reduces durability?	25	97	90	36	12	260
1-8	Do you think that the safety helmet should be replaced in any case if it receives an external shock (fall, flight) at least once?	83	69	60	36	12	260

2-1	Do you feel that the depth of the headrest straps is shallow and lacks the feeling of being close to the head?	20	45	133	50	12	260
2-2	Would you like some cushioning or elasticity in your headrest straps?	78	79	63	31	9	260
2-3	Do you think hair loss or increased blood pressure is caused by the headrest strap?	51	70	82	41	16	260
2-4	Have you ever experienced a foul odor from sweat on the forehead of the headband?	134	73	38	7	8	260
3-1	Do you think the shock absorber will not be able to mitigate the shock in the event of an external impact?	13	57	121	52	17	260
3-2	Is there any additional function you would like to apply through the shock absorber? (① Ventilation function ② Odor removal ③ Strong shock absorption ④ Noise reduction ⑤ All functions)	93	67	47	7	46	260
4-1	Have you ever had an unpleasant or stressful experience because of the smell from the chinstrap?	82	80	53	28	17	260
4-2	Has the material of the chin strap ever touched your skin and caused trouble or itchiness?	22	40	83	70	45	260

4-3	The chin strap should automatically be released by the impact strength. Do you think that the chin strap of the helmet you are currently wearing has the ability to be released by the impact strength? (① I think it has loosening properties. ② I don't think it will be solved. ③ I don't know.)	69	85	106	-	-	260
5-1	Do you wish your safety helmet had ventilation holes?	103	85	44	11	17	260
5-2	Do you think it is convenient to use if the ventilation hole is made in a structure that can be opened and closed in the cap body?	57	56	82	37	28	260
6-1	Do you think a safety helmet can actually protect your head from impact?	60	91	73	21	15	260
6-2	Do you think safety helmets are heavy? (The average weight of currently available for purchase safety helmet is around 380 grams)	38	58	136	25	3	260
7-1	What do you think is the most necessary feature of the safety helmet you are wearing? More than two can be selected (①Camera ②LED flashlight ③Heartbeat sensor ④ Brain wave measurement sensor Gas detector Notification service when collapsed Rescue request button ⑤ Select all)	Multiple response questions					

7-2	If there is a product with additional functions that provide virtual reality (AR) information to safety glasses, would you be willing to wear it?	47	49	101	30	33	260
7-3	If a portable air conditioner that lowers the temperature using a refrigerant was released, would you be willing to wear it on a safety helmet?	90	73	55	22	20	260
8-1	If there is a product that combines a safety helmet and safety glasses in an upward adjustment way, would it be convenient for work?	62	69	93	24	12	260
8-2	Do you think that safety helmets and safety glasses that are currently being sold to people who use glasses and lenses cause stress due to inconvenience in use and deterioration of function, leading to a high risk of accident?	31	58	134	25	12	260
8-3	Do you wish your safety glasses had light-blocking capabilities? (Function that automatically changes on a sunny day)	75	89	68	14	14	260
9-1	Do you think safety helmets with smart features will actually help prevent accidents?	52	75	102	17	14	260

9-2	Although the overall weight of the smart safety helmet is slightly higher, do you hope that the technology to prevent accidents through its function will be introduced as soon as possible?	61	64	93	24	18	260
9-3	Please write down the performance or improvements you need for the safety helmet while you are at work.	Short-answer question					
10-1	How long in a year did you wear a safety helmet? (①3 months, ②6 months, ③9 months, ④12 months)	43	105	82	30	—	260
10-2	How many hours per day do you wear a safety helmet? (①4 hours or more, ②6 hours or more, ③8 hours or less, ④10 hours or less, ⑤12 hours or more)	51	41	82	70	16	260
10-3	Average time per day to sterilize, disinfect, sun-dry, and machine-dry safety helmets (① 30 minutes, ② 1 hour, ③ 2 hours, ④ 3 hours, ⑤ not drying.)	66	32	21	6	135	260
10-4	Do you think that the questionnaire to improve the discomfort and performance when wearing a safety helmet is beneficial?	13	57	121	52	17	260
10-5	If a smart safety helmet is released, are you willing to actively try it on?	98	62	47	7	46	260

설문 분석 결과에서 안전모 구성품의 일반구조와 성능 기준 개선 그리고 만족도에 의미 있는 결과가 도출된 안전모 챙 역할, 일체형 보안경 조절 방식, 머리 고정대, 턱끈, 빗 차단 기능에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

Fig. 4에서는 ‘챙이 있어서 가리개 역할을 하고 있습니까?’ (Q.1-1)에 대한 설문자들의 응답을 나타내었다. 챙의 가리개 역할에 대해 ‘매우 그렇지 않다’ 또는 ‘대체로 그렇지 않다’ 라는 응답(66.5%, 174명)이 ‘대체로 그렇다.’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 비율(3.46%, 9명)보다 약 19배 정도 높음을 알 수 있다. 이는 상당수의 근로자가 챙의 역할에 대해 부정적으로 인식하고 있었다.

또한, 카이제곱 검정을 통해 p-value가 0.001보다 낮은 것으로 확인되어 기댓값(53.4)과 대비하여 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 할 수 있다. (N=260, DF=4, 카이제곱값=146.2, p-value<0.001).

고용노동부 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에서 햇빛 등을 가리기 위한 목적으로 챙의 필요성이 제시되었다. 그러나 위 결과에 의하면 안전모의 챙이 햇빛을 가리기 위한 역할은 매우 제한적인 것으로 나타났다. 또한, 작업 시 챙으로 인해 상부를 보는 시인성을 제한받거나 인지능력이 떨어져 낙하물 사고로 이어진 사례가 주관적 자유 의견에서도 확인되어 앞으로 챙의 역할에 대한 추가 검증이 필요하다.

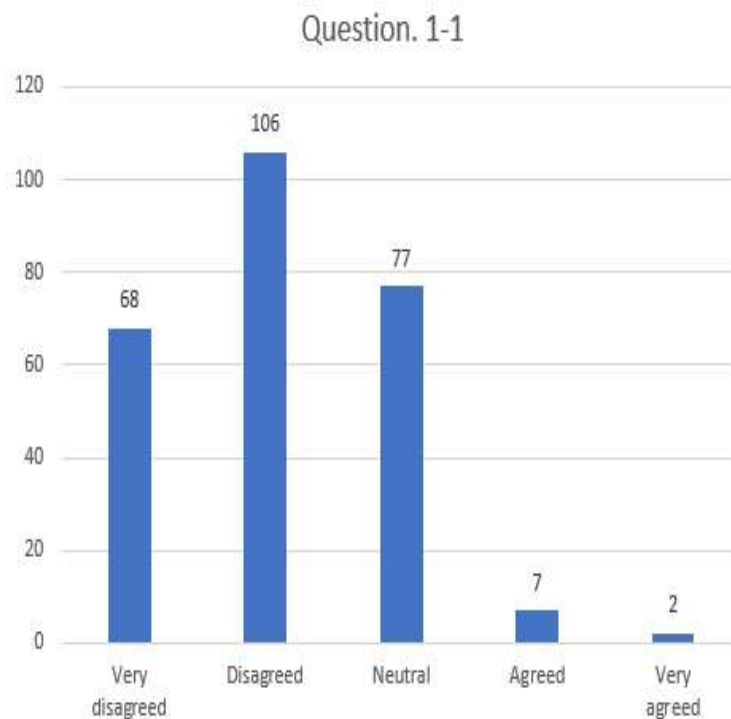


Fig. 4 Result on the question: Have you ever had an unpleasant or stressful experience because of the smell from the chinstrap?

Fig. 5에서는 ‘챙을 짧게 해서 보안경을 상향조절(분리 가능) 할 수 있는 기능이 필요하다고 생각합니까?’ (Q.1-2)에 대한 설문자들의 응답을 나타내었다. 보안경의 상향조절 필요성에 대해 ‘대체로 그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 비율(51.5%, 134명)이 ‘매우 그렇지 않다’ 또는 ‘대체로 그렇지 않다’라는 응답(4.6%, 12명)보다 약 11배 정도 높음을 알 수 있다. 이는 상당수의 근로자가 보안경의 상향조절에 대한 필요성에 대해 긍정적으로 느끼고 있다.

또한, 카이제곱 검정을 통해 p-value가 0.001보다 낮은 것으로 확인되어 기댓값(53.4)과 대비하여 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 할 수 있다. (N=260, DF=4, 카이제곱값=159.0, p-value<0.001).

보호구 안전 인증 고시에서는 보안경을 차광보안경(안전 인증품)과 일반 보안경 (자율안전 확인 신고품)으로 구분하고 있다. 시중에 유통되고 있는 보안경 일체형 안전모에 부착된 보안경은 먼지로부터 눈을 보호할 뿐 유해 광선을 차단할 수 없고 눈과 보안경 사이가 떨어져 굴절 현상으로 인해 시야가 왜곡될 수 있으며, 작업 용도에 맞지 않는 사용으로 오히려 눈 부상을 유발할 수 있을 것이다.

한편, 선진국에서 사용 중인 보안경 상향 조절형 안전모는 사용하면 얼굴 곡선에 따라 보안경이 밀착되어 틈새가 발생하지 않고 작업 용도에 따라 일반보안경과 차광보안경으로 편리하게 교체할 수 있는 장점을 갖추고

있다. 또한, 마스크, 귀마개 등 다른 보호구와의 간섭없이 작업목적에 맞는 보호구를 사용할 수 있도록 설계된 제품을 사용하는 것으로 확인되었다.



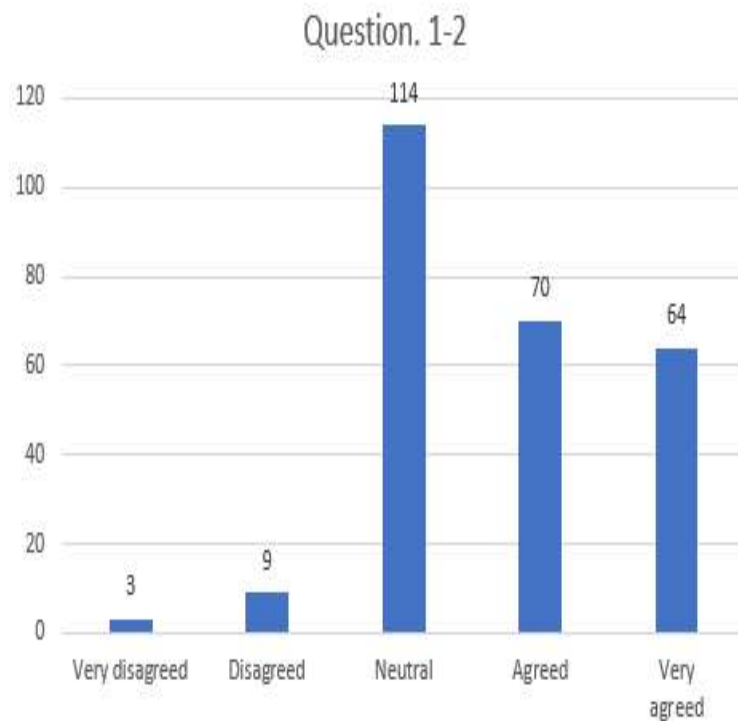


Fig. 5 Result on the question: If you're not sure, do you think having a feature that allows you to adjust the safety glasses upwards (detachable function) by shortening the brim is necessary?

Fig. 6에서는 ‘머리 고정대가 이마 부분에 땀으로 인한 악취를 경험한 적이 있습니까? (개선이 필요하다고 생각합니까?)’ (Q.2-4)에 대한 설문자들의 응답을 나타내었다. 땀으로 인한 악취 경험에 대해 ‘대체로 그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 비율(79.6%, 207명)이 ‘매우 그렇지 않다’ 또는 ‘대체로 그렇지 않다’라는 응답(5.8%, 15명)보다 약 14배 정도 높음을 알 수 있다. 이는 상당수의 근로자가 머리 고정대가 이마 부분에 땀으로 인한 악취를 경험에 대해 개선이 필요하다고 인식하고 있다.

또한, 카이제곱 검정을 통해 p -value가 0.001보다 낮은 것으로 확인되어 기댓값(53.2)과 대비하여 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 할 수 있다. ($N=260$, $DF=4$, 카이제곱값=205.2, p -value<0.001).

머리 고정대는 착장체의 구성품으로 추락 및 감전 위험방지용 안전모를 머리부위에 고정해주는 기능을 갖는 부품이지만 제조사는 원가절감과 사업의 수익성만을 따져 성능 기준이 없는 부품들은 최소한의 기준만을 고려하여 안전모에 결합하는 실정이다. 앞으로는 세부 성능 기준을 선정하여 땀으로 인한 악취가 최소화되도록 개선책이 필요하다.

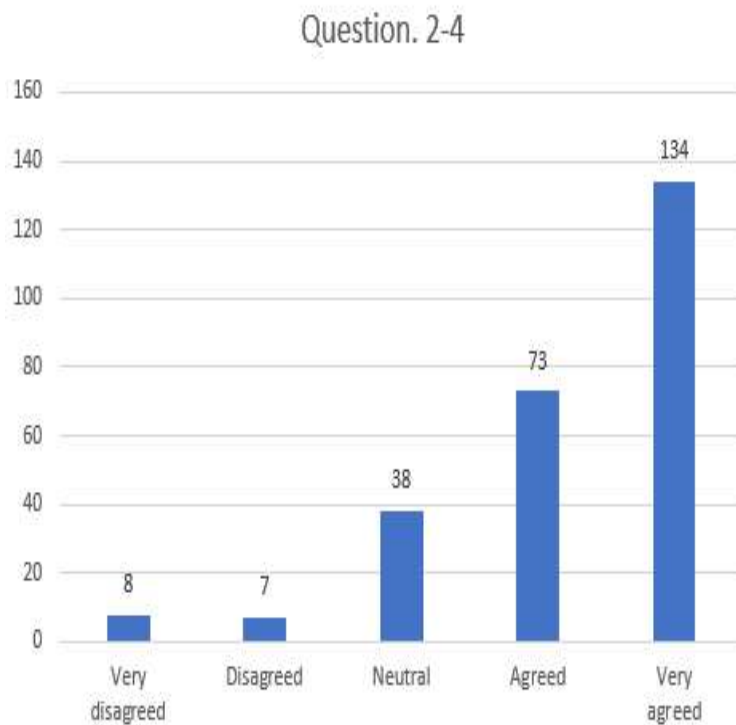


Fig. 6 Result on the question: Have you ever experienced a foul odor from sweat on the forehead of the headband?

Fig. 7에서는 ‘턱끈에서 발생하는 냄새 때문에 불쾌하거나 스트레스를 받은 경험이 있습니까?’ (Q.4-1)에 대한 설문자들의 응답을 나타내었다. 턱끈에서 발생하는 냄새로 인한 스트레스 경험에 대해 ‘대체로 그렇다.’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 비율(62.3%, 162명)이 ‘매우 그렇지 않다’ 또는 ‘대체로 그렇지 않다’라는 응답(17.3%, 45명)보다 약 3.6배 정도 높음을 알 수 있다. 이는 상당수의 근로자가 턱끈에서 발생하는 냄새 때문에 불쾌하거나 스트레스를 받은 경험에 대해 개선이 필요하다고 인식하고 있다.

또한, 카이제곱 검정을 통해 p-value가 0.001보다 낮은 것으로 확인되어 기댓값(53.2)과 대비하여 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 할 수 있다. (N=260, DF=4, 카이제곱값=63.7, p-value<0.001).

매일 착용하는 안전모에 땀으로 인한 턱끈이 젖은 상태에서 발생하는 피부 문제, 악취로 인한 불쾌감이나 스트레스를 많이 받은 것으로 조사되었다. 또한, 스트레스가 많은 종사자일수록 새로운 제품과 디자인의 도입 등을 주관적 자유 의견에 기재된 내용을 확인하였다. 앞으로는 기능성 소재를 개발하여 만족도를 향상하는 노력이 필요한 것으로 판단된다.

또한, 안전모 턱끈의 주요 성능은 사용 중 탈락하지 않도록 확실히 고정되는 구조와 턱끈의 폭 10mm 이상으로 제작하도록 일반구조에 표기되어 있으며, 추락 및 감전 위험방지용 안전모의 시험 성능 방법(제4조 관련)

중 턱끈 풀림 시험에서는 150N 이상 250N 이하에서 턱끈이 풀리게 되어 있지만 국내 시장에 판매되고 있는 패션 턱끈 등은 일반구조와 성능 기준에 미달하는 제품으로 기존에 안전모와 결합하여 사용하면 성능을 보장할 수 없는 현실임에도 건설 현장에서는 별도로 제약 없이 구매가 가능한 상황이다. 이에 따라 소모품을 별도로 구매하여 사용하는 턱끈에 관한 기준 마련이 시급한 현실이다.



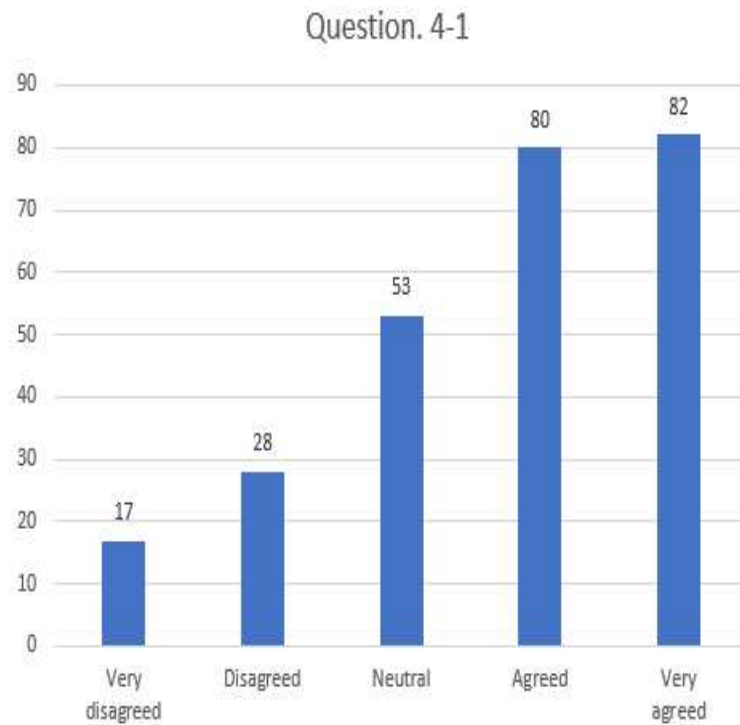


Fig. 7 Result on the question: Have you ever had an unpleasant or stressful experience because of the smell from the chinstrap?

Fig. 8에서는 ‘보안경에 빛을 차단하는 기능이 있었으면 좋겠습니까?’ (Q.8-3)요 대한 설문자들의 응답을 나타내었다. 보안경의 빛 차단 필요성에 대해 ‘대체로 그렇다.’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 비율(63.1%, 164명)이 ‘매우 그렇지 않다’ 또는 ‘대체로 그렇지 않다’라는 응답(10.7%, 28명)보다 약 6배 정도 높음을 알 수 있다. 이는 상당수의 근로자가 보안경에 빛을 차단하는 기능에 개선이 필요하다고 인식하고 있다.

또한, 카이제곱 검정을 통해 p-value가 0.001보다 낮은 것으로 확인되어 기댓값(50.8)과 대비하여 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 할 수 있다.(N=260, DF=4, 카이제곱값=92.9, p-value<0.001).

안경과 렌즈를 착용하는 사람의 불편함을 기능적으로 해소하기 위해서는 새로운 형식의 제품이 필요한 것으로 조사되었다. 외국의 사례에서도 안전모와 보안경을 상향 일체화시켜 제공하는 방법으로 불편함을 해소하고, 잃어버리는 상황을 줄이고자 하는 방향으로 개선 및 개발되고 있다.

앞으로 보안경 상향 조절형 안전모를 개발하여 얼굴 곡선에 따라 보안경이 밀착되어 틈새가 생기지 않고 작업 용도에 따라 시력 보호와 렌즈를 편리하게 교체할 수 있을 것이다. 더 나아가 효과적인 경고와 교육 메시지를 전달할 수 있도록 위험 상황에 맞는 다양한 표지를 개발하여 식별할 수 있는 기능 연구가 추가로 필요하다⁴⁷⁾.

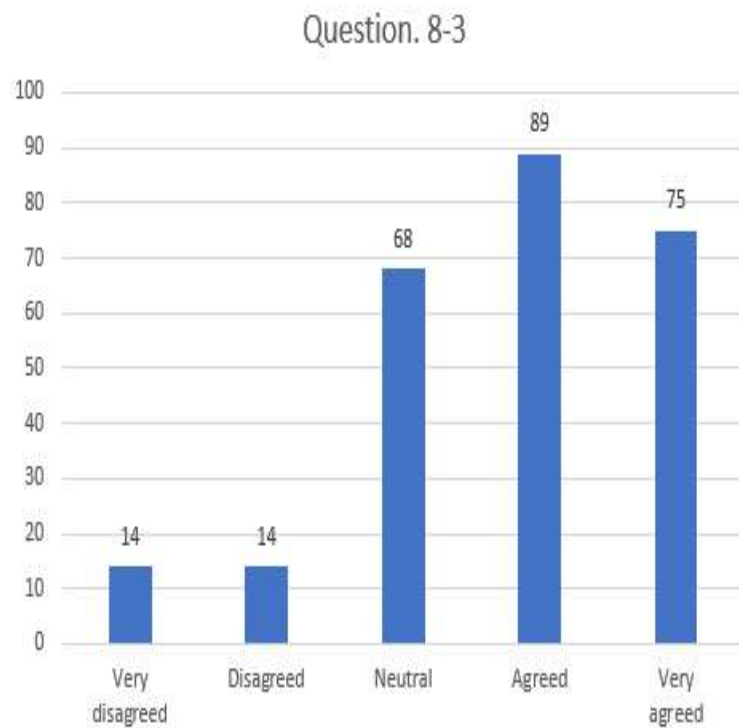


Fig. 8 Result of the question: Do you want your safety glasses to have light-blocking features?

종합해보면 의미 있는 결과가 도출된 5개 카테고리의 기댓값이 Q.1-1, Q.1-2는 53.4, Q.2-4, Q.4-1은 53.2, Q.8-3은 50.8이며, 카이제곱 검정 값과 비교하여 차이가 클수록 유의미한 결과가 도출된 것으로 해석할 수 있다. 즉, 본 연구에서는 카테고리 간 차이가 없을 때의 기댓값 대비 얼마나 관측값이 차이가 나는지를 확인하였다.



설문조사에서 성능영역 중 주관적 자유 의견에 기재된 내용은 Table 7과 같이 정리하였다.

Table 7 Subjective opinions regarding performance areas

주관적 자유 의견	건수(중복포함)	비고
선진국형 안전모 지급필요, 도입	15	레저 및 등산용 안전모 포함
안전모 경량화	49	
안전모 충격강도	37	추락 및 비래사고 직간접경험 다수
통풍기능	40	
안전모 턱끈 개선	13	
안전모 땀 흡수	10	
앞부분 챙 제거	33	시야 가림 현상
LED 기능	8	
안전모 머리 조임대 개선	3	
GPS 기능	2	
합계	210	

주관적 자유 의견에서는 안전모의 경량화(49건), 통풍 기능(40건), 안전모의 충격강도(37건) 순으로 나타났다. 안전모의 경량화와 통풍기능에 관한 개선의견은 “보호구 안전 인증 고시”의 법적 규제를 받는 내용으로 본 연구에서는 “3.3 안전모 사용성에 관한 고찰”에 상세하게 설명하도록 하겠다.

3.3 안전모 사용성에 관한 고찰

대부분의 건설 현장 종사자들은 하루 8시간 이상 계속 착용해야 한다. 장시간 안전모 착용으로 인해 근로자들은 여러 가지 불편함을 호소하고 있다. 즉, 안전모는 단순히 착용만 하는 안전모가 아니라 작업에서 오는 부담감, 불편함을 넘어 성능적인 측면에서 새로운 안전모 유형에 대한 평가와 개선에 관한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

신소재 개발을 통한 안전모의 경량화는 “보호구 안전 인증 고시”에 적합한지에 관한 연구와 실험을 통해 확인할 필요가 있다. 또한, 안전모에 스마트 장비 부착으로 인해 발생하는 안전모의 무게 상승은 무게 상승으로 사용자의 목, 척추 및 주변의 근육 등에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보는 인간공학적 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

통풍기능에서는 안전모 성능 기준에 따라 현실적으로 불가능하나 ABE형 안전모를 기준으로 내전압성을 절연파괴 없이 방어하면서 통기성을 제공하는 제품에 대한 성능개선에 관한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

안전모의 사용 연한은 법적으로 규정된 사항이 없어 사업장의 작업 여건이나 사용자의 판단에 따라서 자체적으로 사용되고 있다. 앞으로의 연구에서는 사용 연한에 관한 규정과 성능 저하를 고려한 대체 시기에 관한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

충격강도 발생 시 턱끈 풀림 기능에 대한 정보제공이 필요 의견으로 도출되었다. 안전모 턱끈의 폭 10mm 이상으로 제작하는 일반구조와 150N 이상 250N 이하에서 턱끈이 탈락해야 2차 재해를 예방하는 성능을 갖고 있지만, 땀으로 인한 악취로 인해 성능이 보장되지 않은 패션 턱끈 등의 제품을 제약 없이 구매하여 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 이에 따라 별도로 구매하여 사용하는 턱끈에 관한 기준 마련이 시급한 현실이다.

한편, 미국에서는 측면 충격 흡수성 시험을 법령으로 규정하고 있고 더 나아가 턱끈 걸림으로 인해 발생할 수 있는 목 졸림 현상으로부터 신체를 보호하는 데 필요한 안전장치인 완충기(Shock absorber)를 사용하고 있어 국내 기준에 적합한 성능개선 연구가 필요한 것으로 판단된다.

최근 들어 우리나라가 선진국으로 진입함에 따라 근로자의 안전의식 향상과 개인보호장비에 관한 요구가 높아지고 있다. 그러나 산업현장에서 사용 중인 안전모의 경우 선진국과 비교해 관련 연구 및 개발이 뒤처지고 있으며, 앞서 국가별 안전모 성능시험과 국내 안전모의 성능시험에 관한 문헌 조사를 통해 확인하였다.

또한, 주관적 자유 의견에서 안전모 충격강도의 필요성에 관한 내용을 작성한 근로자들은 실제 플랜트나 원자력발전소 현장에서 작업 중 자신이 경험하거나 동료나 지인들이 사고로 인해 부상을 경험한 사례를 확인하였다. 이에 안전모 성능 등급에서 기준이 되는 충격 흡수성 시험을 비롯해

미국의 측면 충격 시험기준과 장비를 갖고 국내에 판매되는 안전모를 시험하여 실제 산업현장에서 재해 발생 시 안전모 충격 부위에 따른 충격 흡수성 성능이 적절한지를 평가하는 비교연구가 필요한 것으로 생각된다.



제 4 장 충격 흡수성 시험 연구

4.1 충격 흡수성 시험의 필요성

산업현장에서 발생한 머리 부상 사고 중에 손상 부위 또는 안전모의 충격 부위를 조사하기 위해 고용노동부의 산업재해 현황이나 안전보건공단에서 발간, 발표하는 문헌들을 조사하였으나, 머리 또는 안전모 충격 부위의 사고 당시 상황이나 메커니즘을 확인하는 자료는 확인할 수 없었다.

이에 따라, 국내 A 건설사에서 보관 중인 2018년~2023년 업무상 사고 조사 보고서는 산업재해 조사표에 등록된 자료를 수집하여 분석하였다. 산업재해 조사표 내용 중 4m 이하의 추락 및 전도, 협착, 낙하·비래(飛來) 사고를 조사하였고, 그중 부상 부위가 머리로 판명된 사고의 정보와 안전모 타격 부위에 대한 정보는 Table 8과 같이 나타내었다. 또한, 머리 부상 사고로 발생한 안전모 충격 부위의 표본 사진은 Fig. 9와 같다.

Table 8 A construction company focused on the direct impact of safety helmet during work-related accidents

year	construction type	construction process	work category	case of disaster	kind of disaster	impact area	injured area	job type	original cause materials
2018	apt	earthwork	Soil transport	stricture	death	side	head	signalman	dump truck loading box
2019	apt	frame work	clearance	fall	injury	side	head trauma	worker	step ladder
	apt	frame work	temporary facilities	flying	injury	side	head laceration	worker	earth anchor
	apt	facility	pipe	flying	injury	side	head laceration	worker	pipe cap
2020	apt	frame work	system support	fall	injury	side	impact and scapular fracture	scaffolder	system support
	apt	frame work	pour	fall	injury	side	brain hemorrhage	operator worker	shackle
	logistics center	earthwork	driving	flying	injury	side	impact and clavicle fracture	monitor worker	Soil
	hospital	frame work	formwork	falling	injury	side	traumatic subdural hemorrhage	worker	work platform
	apt	demolition	scaffold	falling	injury	side	head laceration	scaffolder	outer End
2021	plant	Facility	lifting	flying	injury	side	impact and septal fracture	scaffolder	shackle
	logistics center	earthwork	driving	flying	death	side	head	scaffolder	shovel
2022	data center	Slurry Wall	wall	flying	injury	side	head	monitor worker	pipe cut
2023	apt	paint	protect	stricture	injury	side	hypoxic ischemic encephalopathy	painter	scissor lift



Fig. 9 The impact area on the safety helmet from the accident

5년 동안 안전모에 직접적인 충격이 가해져 발생한 사고는 18건으로 조사되었다. 그중 측면 충격사고는 13건에 재해자 13명이 발생하였고, 13명의 재해자 중 사망이 2명, 부상이 11명으로 확인되었다.

실제 산업현장에서 발생한 추락 사고 D/B를 분석한 결과에서 안전모는 업무상 사고로 인한 두부 손상과 관련이 있으며, 추락 높이 4m 이내에서도 그 효과가 유지되므로 산업현장에서 안전모를 착용하는 것은 추락 사고와 관련된 두부 손상을 보호하는 데 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다⁴⁸⁾. 이처럼 여러 연구 분야에서 안전모는 두부 손상을 예방하거나 두부 손상의 크기를 경감시키는데 가장 효과적인 방법이라고 설명하고 있다⁴⁹⁾.

이렇게 중요한 역할을 하고 있는데도 불구하고 산업현장에서 사용 중인 안전모는 70년 전의 제품과 디자인이 매우 유사한 것으로 나타났다⁵⁰⁾. 국내 안전모와 관련된 디자인 개발과 기술적 발전이 더딘 이유는 분명히 존재하고 있을 것이다. 이는 안전모가 최소 성능 기준을 규정하는 국가 표준만을 충족하도록 설계되어, 기술 발전을 평가하거나 추진하기 위한 노력은 지금까지 제한적으로 다루어지고 있는 현실이다.

국제노동기구(ILO)에서 연구한 글로벌 통계를 살펴보면 문제의 심각성을 더욱 강조되고 있다. 전 세계 건설 현장에서 매년 최소 6만 건의 사망 사고가 발생한 것으로 추산한다. 이는 10분마다 치명적인 사고가 발생한다는 뜻이다. 건설 현장은 위험한 작업영역 중 하나로 간주하며, 치명적인

사고 6건 중 1건이 사망으로 이어지고 있다. 그중 머리 부상은 가장 치명적인 사고이므로 예방이 중요하다. 이는 높은 곳에서 떨어지거나 물체에 부딪히거나, 넘어지거나 하는 등의 사고로 인해 자주 발생하는 것으로 입증 되었다⁵¹⁾.

안전을 선도하는 독일, 캐나다, 벨기에, 핀란드에서는 자전거, 오토바이 및 승마 사고에 관한 연구 통계에서 가장 흔한 사고 상황은 지면에 대한 평균 각도 30~40°의 측면 충격에서 비롯된 것으로 나타났으며, 이는 선행 및 회전 운동을 생성하는 주요 요인으로 밝혀 졌다^{52,53,54)}.

영국표준협회(BSS) 1995에서는 안전모의 디자인과 성능 한계에서 상부 충격만을 보호 성능으로 제작한 EN397:1995 산업용 안전모를 두고 이는 최소 요구 사항만 구성한 제품이며, 측면 충격 보호를 고려하지 않고 설계된 것을 두고 지적했다. 또한, 연구에 따르면 뇌는 선행 운동(수직 충격)보다 회전 운동(측면 충격)에 더 민감한 것으로 나타났다. 이처럼 회전하는 동작은 뇌의 민감성으로 인해 가벼운 충격에도 뇌진탕을 일으킬 수 있다는 위험 신호를 보내고 있다⁵⁵⁾.

또한, 안전보건청(HSE) 통계자료에서도 건설 노동자는 다른 어떤 유형의 노동자보다 뇌진탕을 겪을 가능성이 더 크다고 알리며, 이는 건설 사업비의 증가분으로 이어진다고 밝히고 있으며, 업무상 사고로 사용되는 비용이 연간 3,400만 파운드(한화 563억 원)에 드는 것으로 추산하였다^{56,57)}.

영국에서 이를 개선한 EN14052:2012 고성능 안전모는 EN397 보호 성능을 2배로 충족하면서 측면 관통 하중을 위한 내부에 흡수제를 보강하여 시중에 유통되고 있으며, 주로 광업이나 건설공사 등 고위험작업 군에서 사용 중인 것으로 나타났다³⁷⁾.

미국은 건설 현장에서 발생하는 사고 중 머리 부상의 1/3미만은 Type I 안전모 정부에서 발생하고, 측면 충격의 2/3이상은 Type II 안전모의 전면과 측면에서 발생한 것으로 나타났다⁵⁸⁾. 그리고 Type II 인증의 필요성은 1987년 Gilchrist와 Mills의 연구에서 강조되었는데, 이는 Type I 안전모는 상부 충격에서만 성능을 보장하고 실제 사고 시 충돌 빈도가 높은 측면, 전면 및 측면부 충격에는 실질적 보호 성능에 관한 기준이 없어 재설계가 필요하다는 결론을 내렸다⁴⁹⁾.

이에 따라 ANSI(American National Standard Institute) Z89.1:1997에서 머리 보호 표준에 대한 개정판을 발표했다⁵⁹⁾. 주요 내용은 안전모제조업체는 역방향 안전모 보호 등급 지침과 충격에너지 감쇠 테스트 요구 사항을 충족해야 한다는 것이다. 제조업체는 역방향 안전모의 표시를 통해 역 착용 요구 사항을 충족하는 안전모를 제작해야 하며, 역방향 안전모는 앞면 또는 뒷면 착용 여부와 관계없이 모든 방향의 테스트 요구 사항을 통과해야 하는 조건을 설명하는 ‘역방향 안전모’ 내용을 신규로 개정판에 추가하였다. 또한, 과거 사용되는 테스트에서 장치를 구성하는 구성 요소 목록

에서 ‘수직 가드레일’을 제거하고 개정판에서는 역방향 안전모의 충격에너지를 시험하는 지침을 추가하였다. 여기에는 힘의 전달, 충격에너지 감소 및 안전모 정부 이외 측면 충격에너지 시험이 포함된다. 사용된 방법이 머리의 기본 평면과 평행하고 머리가 낙하 위치에서 앞, 뒤로 이동하는지와 관계없이 모든 조건에서 시험을 통과하는지 확인하기 위해 개정된 개정판에 지침이 추가되었다.

여러 후속 개정 후 측면 충격 안전모에 관한 머리 보호 표준 미국 ANSI Z89.1-2014는 두 가지 유형의 안전모(유형 I과 유형 II)에 대한 충격 보호 요구 사항을 지정한다. 우수한 머리 보호 장치를 선택할 때 안전모가 ANSI Z89.1-2014 인증받았을 뿐만 아니라 Type II 인증을 받았는지 확인하는 것이 중요하다. 따라서 시중에 유통되는 안전모 일부를 구매하여 안전모의 정부만을 시험하는 국내 충격 흡수성 시험뿐만 아니라 ANSI Z89.1-2014의 Type II에 해당하는 측면 충격 흡수성 시험을 통해 비교 평가하고 국내 안전모가 측면 충격기준에 적합한지를 알아보고자 하였다.

4.2 충격 흡수성 시험방법

4.2.1 시료 안전모

본 연구에서 사용된 시료 안전모는 국내 5개 제조사가 시중에 유통 중이며, 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따라 인증 합격품인 ABE형 안전모 50개를 시험에 사용하였다. Fig. 10에 제시된 A사만 보안경 일체용 제품이고, B~E사는 일반안전모 제품이다. A~D사 제품 모체의 모양은 투구형이고, E사 제품의 모양은 MP 형으로 구성하였다.

또한, Table 9에서 안전모의 구조와 재료 그리고 기본 특성은 모체의 ABS 재질, 턱끈, 충격흡수체를 포함하고 있으며, 개별특성으로 머리 고정대는 A사의 제품은 4점 방식이고, B~E사의 제품은 6점 방식으로 구성되었다.

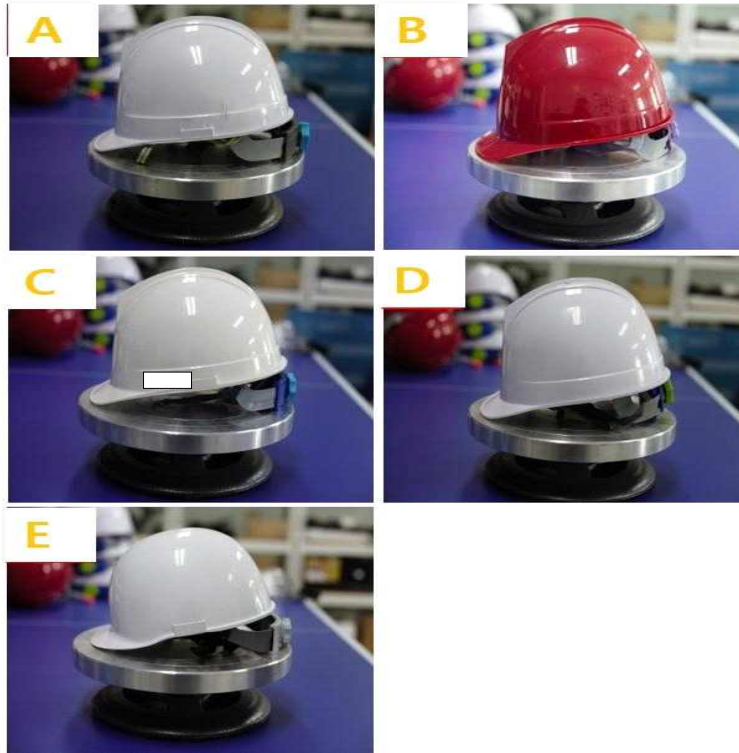


Fig. 10 Safety helmets are safety-certified products of type A-E

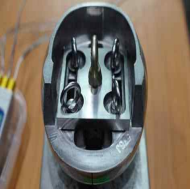
Table 9 Construction of tested safety helmets

Symbol	Shell material	Safety glasses	Cradle construction
A	ABS	○	Four-point
B	ABS	×	Six-point
C	ABS	×	Six-point
D	ABS	×	Six-point
E	ABS	×	Six-point

4.2.2 시험 장비 및 과정

안전모 사용자의 충격 흡수에 영향을 미치는 다양한 매개변수를 측정하려면 추락 및 감전 위험방지용 안전모의 시험방법(제4조 관련) 기준을 준수하여야 하며, 충격 흡수성 시험 장비는 Table 10과 같다.

Table 10 Test equipment

Type	Equipment	Equipment name
Thermo-hygrostar (High temperature)		TH500
Thermo-hygrostar (Low temperature)		TH500
Impact testing machine		Safety helmet impact testing machine
Sensor A		Safety helmet impact testing machine head dummy
Sensor B		Safety helmet impact testing machine anvil

국내 기준 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따르면 안전모는 용량·등급(ABE, AB, AE, A)을 선택하고, 안전 인증제품을 사용하여야 한다. 안전 인증 안전모의 시험 성능 기준은 6가지 항목으로 분류되며, 항목은 내관통성, 충격 흡수성, 내전압성, 내수성, 난연성, 턱끈 풀림으로 규정되어 있다.

그중에서도 충격 흡수성 시험은 두부 손상에 가장 중요한 성능을 평가하는 요인으로 시험평가 전처리를 고온 조건 ($50\pm 2^{\circ}\text{C}$)에서 4시간 이상 유지, 저온 조건 ($-10\pm 2^{\circ}\text{C}$)에서 4시간 이상 유지 후 시험하였다. Fig. 11과 같이 안전모 충격 흡수성 시험장치에 안전모를 머리 고정대가 느슨한 상태로 머리 고정대 길이가 58cm 이상, 낙하점이 모체 정부를 중심으로 지름 76mm 이내가 되도록 질량 3.6kg의 철제 추를 높이 1.52m에서 자유낙하 시키고 전달된 최고 충격력을 측정하였다. (충격이 가해진 안전모에 다시 충격이 가해지지 않도록 하며, 전처리한 후 1분 이내에 행한다) 이 모든 과정을 통해 충격 흡수성 시험 결과 최고 전달 충격력이 4,450N을 초과하지 않고 모체와 착용체의 기능이 상실되지 않아야 한다¹⁶⁾.

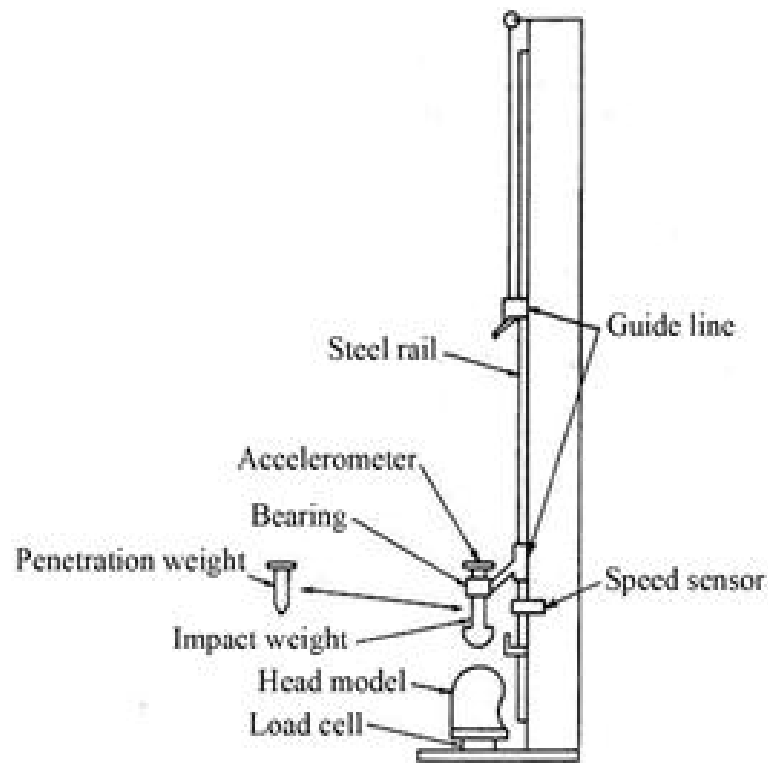


Fig. 11 Safety helmet shock absorption test device

반면 미국표준인 ANSI/ISEA Z89.1-2014에서는 이미 오래전부터 안전모 측면 충격에너지 감쇠 시험을 법으로 규정하고 있었다. Fig. 12는 미국표준 충격에너지 감쇠 시험장치이며, 본 시험을 위해 시험장치를 도입하여 안전모 측면 충격 에너지값을 도출하였다.

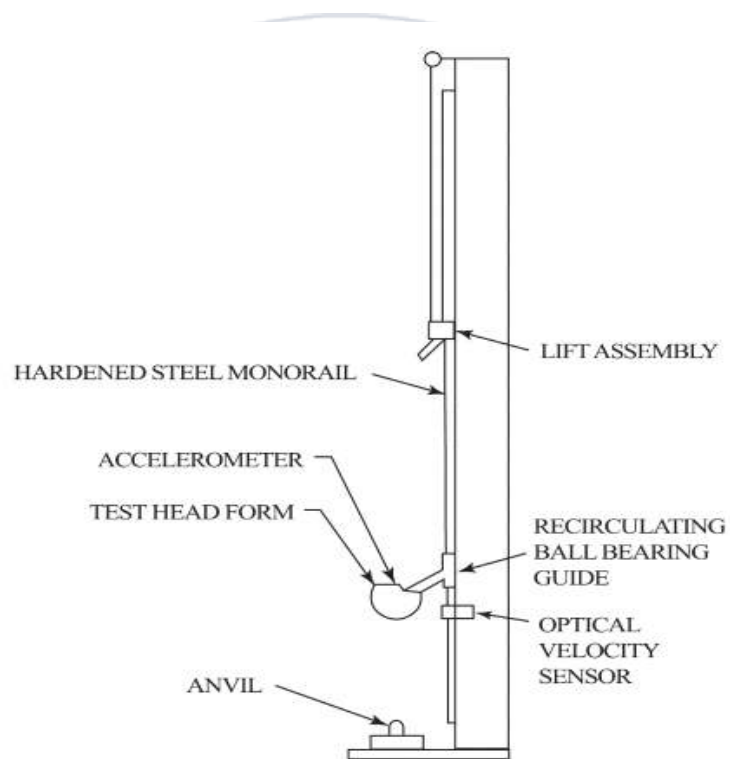


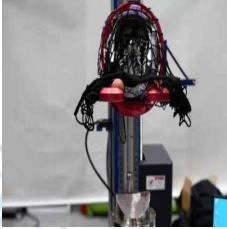
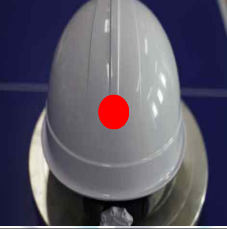
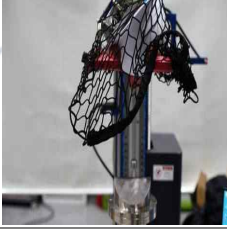
Fig. 12 S Typical impact energy attenuation test apparatus

4.2.3 시험 설정

국내 시중에 유통 중인 안전모는 5가지 타입의 안전모 50개를 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따라 안전모 충격 흡수성 시험을 시행하였다. 이를 통해 낙하 물체의 충격을 나타내는 최고 충격전달력 값을 분석하였다. 또한, 안전모 정부 외 측면 충격전달력 값을 알아보기 위해 측면부의 충격 위치를 설정하여 현실적인 충격 흡수성 시험을 시행하였다.

이 모든 시험은 해일로에서 운영 중인 연구실에서 수행하였으며, 시험장비는 공인교정기관에서 인정한 QRSCI I, II 제품으로 기계장치인 G_Control DAQS 하드웨어와 안전모 충격 시험프로그램인 소프트웨어로 분석하였다. Table 11에서 안전모 정부 타격지점을 포함한 측면 타격지점은 전면 50mm, 후면 80mm, 좌측면 50mm, 우측면 100mm이며, 이는 안전모 착용 시 이마, 뒤통수, 관자, 마루뼈 지점을 임의 설정하였다.

Table 11 Safety helmet impact point

Type	Location			
Crown			Top	
Off-crown	Above 50mm		Front	
	Above 80mm		Back	
	Above 50mm		Left side	
	Above 100mm		Right side	

4.3 충격 흡수성 시험 결과

4.3.1 충격 흡수성 시험 결과 분석

본 연구에서는 국내 시중에 유통 중인 5개 사 안전모를 갖고 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따른 안전모 충격 흡수성 시험을 시행하였다. 분석 결과 최고 충격전달력 값의 범위는 Fig. 13과 같다.

또한, 그룹 간 최고 충격전달력은 고온에서 2,600~ 4,108N이고, 저온에서 2,316~3,991N으로 측정되었다. 최고 전달 충격력이 4,450N을 초과하지 않았으며, 모체와 착장체의 기능이 상실되지 않아 성능 기준에 적합한 것으로 분석되었다.

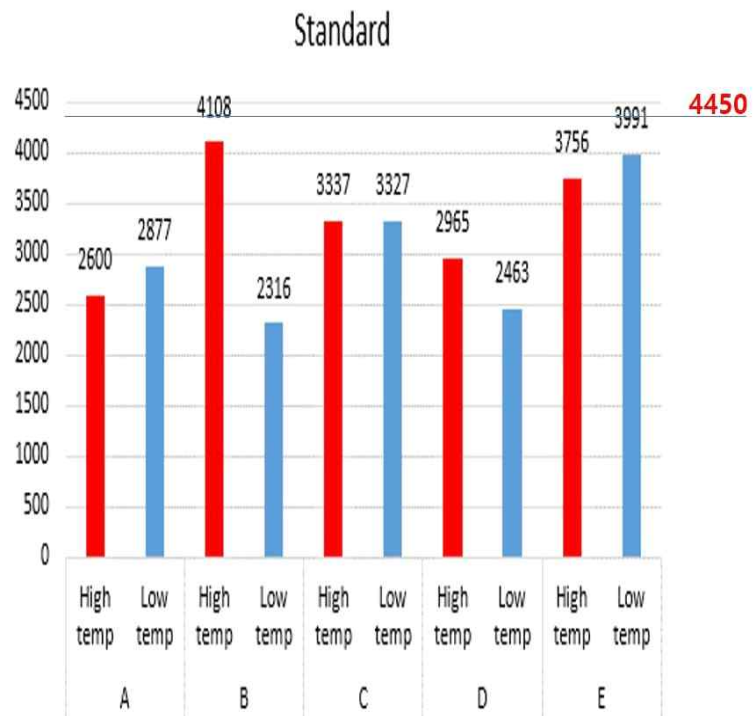


Fig.13 Safety helmet shock absorption test results (Unit : N)

4.3.2 측면 충격 흡수성 시험 결과 분석

미국에서 사용하고 있는 측면 충격에너지 시험장치를 갖고 충격 흡수성 시험을 통해 최고 전달 충격력 값을 도출한 결과는 Table 12와 같다. 안전모의 전면, 후면, 좌·우측면, 평균 순으로 나열하였다. 전면(지면에서 50mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 4,282~5,465N이고, 저온에서 4,878~6,958N이며, 후면(지면에서 80mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 5,424~6,026N이고, 저온에서 4,730~6,566N이며, 좌측면(지면에서 50mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 5,940~6,456N이고, 저온에서 5,463~6,558N이며, 우측면(지면에서 100mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 3,589~5,610N이고, 저온에서 3,938~6,198N으로 분석되었다. 5개 제조사별 그룹 평균은 4,722~5,267N으로 분석되었다.

우리나라의 법령에서는 안전모 측면 최고 전달 충격력 값의 기준이 존재하지 않지만, 5개 제조사의 제품은 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 국내 기준치인 4,450N을 대부분 상회한 것으로 나타났다. 이것으로 국내 산업현장에서 사용 중인 안전모는 측면 부위에 충격 발생 시 안전모 정부에 비해 취약한 것으로 확인되었으며, 이는 측면 부위가 사고위험에 노출과 사고 발생 시 두부 손상 확률이 높을 것으로 생각된다.

Table 12 side impact absorption test results and averages

Company Location		A	B	C	D	E
Front	High Temp	4585	5465	5257	5084	4282
	Low Temp	4878	5578	5090	5591	6958
Back	High Temp	5548	5424	5917	5482	6026
	Low Temp	4730	5694	5407	5718	6566
Left Side	High Temp	5976	6016	5940	5859	6456
	Low Temp	5547	6558	6349	6502	5463
Right Side	High Temp	5397	4637	3589	5610	5241
	Low Temp	5087	4287	4181	6198	3938
Average		4722	5008	4839	5147	5267

4.4 안전모 충격 흡수성 시험에 관한 고찰

현재 우리나라의 법령에서는 안전모 측면 최고 전달충격값의 기준이 존재하지 않지만, 안전모 측면 부위에 충격 발생 시 안전모 정부에 비해 취약한 것을 확인하였다. 이는 측면 부위가 사고 발생 시 위험에 노출과 두부 손상 확률에 높을 것을 예측할 수 있다.

우선 과제로 국내 실정에 맞는 안전모 사용자의 사고 발생 시 부상 예측이나 메커니즘에 관한 연구를 통해 안전모의 측면 최고 전달 충격력 N 값에 대한 범위설정이 필요하며, 그 기준은 미국에서 도입 중인 시험방법 등을 참고하여 국내 안전모의 특성을 높이는 노력이 필요하다. 안전모는 타격 횟수가 증가함에 따라 누적 구조 손상을 입으며 큰 충격이 계속되면 충격 흡수 성능이 저하되므로, 안전모 측면 충격 흡수성 시험에서는 전달된 충격량의 타격 횟수 제어 절차를 위한 일관된 충격량을 측정할 수 있는 시험장치를 개발할 필요가 있다고 판단된다.

1) 국내 실정에 맞는 산업현장의 형태 및 작업하는 구간, 고위험군으로 분류되는 작업 등 기준과 충격량에 대한 분류가 필요한 것으로 판단된다.

2) 향후 자유낙하 방식이 아닌 머리 모델이 직접 수직 낙하 또는 60도 이하(측면/뒷면)에서 낙하는 하는 복합 낙하방식의 도입이 필요하다.

3) 안전모 사용자의 부상 예측과 메커니즘에 관한 연구가 필요하다.

제 5 장 결론

5.1 결론

본 연구는 안전모가 추락 위험방지용 보호구로 적합한지에 대한 문헌 고찰하였다. 국내외 안전모 규정을 분석하여 보호 목적, 사용기준, 보호 성능 등을 조사하였으며, 건설업 종사자를 대상으로 안전모 사용성에 영향을 미치는 요인을 설문 조사하였다. 과거의 연구에서는 안전모의 형상과 기능을 비판 없이 받아들였으나, 현재는 다양한 성능 개선의견에 따라 안전모 디자인의 문제를 평가하고 불편 사항과 문제점을 파악하여 성능개선이 필요한 요인을 분석하였다. 또한, 근로자의 머리 보호에 필수요소인 보호 성능을 높인 안전모를 설계하기 위한 기초 자료를 제공하기 위해 국가별 안전모 충격 흡수성 시험에 대한 문헌을 비교하였으며, 국내 5개 제조사가 시중에 유통 중인 ABE 형 안전모 50개를 시험에 사용하여 충격 흡수성 시험과 국내에는 성능 기준이 없는 안전모의 측면 최고 충격흡수량 시험을 통해 안전모의 보호 성능과 역할을 제안하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 산업안전보건법에 규정된 추락위험방지용 보호구로 안전모를 지정하는 것과 관련하여 안전모의 기능 및 정의 측면에서 다음과 같은 개선 사항을 확인하였다.

국가별 안전모의 사용 목적을 분석한 결과 산업현장에서 사용되는 안전모는 한국을 제외한 유럽연합, 영국, 미국 등은 낙하·비래(飛來), 충격, 그리고 감전의 위험을 방지함이 목적이고 추락재해를 방지하는 보호구로는 인정하지 않는 실정이기에 추락위험방지용 보호구로는 인정되지 않음을 알 수 있었다.

국가별 안전모의 시험 성능 기준은 따르면 안전모의 충격에너지값은 49~100J, 마찰이 없는 변화조건에서 자유낙하 속도는 4.427~5.458m/s로 산출되었다. 안전모의 보호 성능은 충격·낙하·비래(飛來)이며, 사용 목적은 머리 상부만을 보호하는 것이다. 따라서, 우리나라 법령에서 추락용 보호구로 안전모가 지정된 것을 ‘충격’으로 규정하고 충격위험방지용 보호구로 사용하도록 법령을 개정할 것을 제안하고자 한다.

또한, 현재 안전모의 지급·착용 법적 기준은 추락, 낙하·비래(飛來), 감전 등으로 제한되어 있어 위험이 있더라도 안전모를 착용할 필요가 없다는 오해가 여전히 존재하고 있다. 산업현장에서 보호구를 사용하지 아니하더라도 근로자가 유해·위험작업으로부터 보호를 받을 수 있도록 설비개선 등의 우선 조치가 필요하다. 더 나아가 추락위험방지를 위한 단계별 추락

예방조치가 생략되고 가장 비용이 적게 들고 구비가 간편한 안전모 지급·착用に 의존하는 산업현장의 구조부터 개선이 필요하며, 이를 통해 보호구에 대한 올바른 방향으로 전환할 수 있다는 측면에서 산업재해 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

2) 안전모의 구성품에서 일반구조, 성능개선, 만족도에 필요한 디자인 결정 요인에 대해 결과를 요약하면 다음과 같다.

안전모 챙의 햇빛 가리개 역할은 매우 제한적인 것으로 나타났다. 또한, 주관적 의견에서도 작업 시 챙으로 인해 상부를 보는 시인성을 제한받거나 인지능력을 저하해 낙하물 사고를 초래한 경우가 반복적으로 확인되었다.

시중에 유통되는 보안경 일체형 안전모에 부착된 보안경은 성능 기준에 미달하는 제품으로 먼지로부터 눈을 보호할 뿐 유해 광선을 차단할 수 없다. 눈과 보안경 사이가 멀어서 굴절 현상으로 인해 시야가 왜곡될 수 있으며, 작업 용도에 맞지 않는 사용으로 오히려 눈 부상을 유발할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, 안경과 렌즈를 착용하는 사람의 불편함을 기능적으로 해소하기 위해서는 새로운 형태의 제품이 필요한 것을 알게 되었다. 외국에서 사용되는 보안경 상향 조절형 안전모는 성능 기준의 제품으로 착용하면 얼굴 곡선에 따라 보안경이 밀착되어 틈새가 생기지 않고 작업 용도에 따라 일반과 차광렌즈를 편리하게 교체할 수 있으며, 마스크,

귀마개 등 다른 보호장비를 방해하지 않고 작업목적에 따라 시력 보호와 렌즈를 편리하게 교체할 수 있을 것으로 조사 되었다.

머리 고정대에 대한 법적 성능 기준이 없으며, 착장체의 구성품으로 안전모 착용 시 머리부위에 고정해주는 역할로서 제조사에서는 원가절감과 영업이익만을 따져 성능 기준이 없는 부품들은 최소한의 기준만을 고려하여 안전모에 결합하는 실정이다. 앞으로는 세부 성능 기준을 선정하는 노력과 동시에 쾌적 성능에 필요한 땀으로 인한 악취가 최소화되도록 개선책이 필요하다.

안전모 턱 끈은 매일 착용하는 안전모에 땀으로 인한 턱끈이 젖은 상태에서 발생하는 피부 문제, 악취로 인한 불쾌감이나 스트레스를 많이 받은 것으로 조사되었다. 또한, 스트레스가 많은 종사자일수록 새로운 제품과 디자인의 도입 등을 주관적 자유 의견에 기재된 내용을 확인하였다. 앞으로는 기능성 소재를 개발하여 만족도를 향상하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

또한, 안전모 턱끈의 주요 성능은 사용 중 탈락하지 않도록 확실히 고정되는 구조와 턱끈의 폭 10mm 이상으로 제작하도록 일반구조에 표기되어 있으며, 추락 및 감전 위험방지용 안전모의 시험 성능 방법(제4조 관련) 중 턱끈 풀림 시험에서는 150N 이상 250N 이하에서 턱끈이 풀리게 되어 있지만, 국내 시장에 판매되고 있는 패션 턱끈 등은 일반구조와 성능 기준

에 미달하는 제품으로 기존에 안전모와 결합하여 사용하면 성능을 보장할 수 없는 현실임에도 건설 현장에서는 별도로 제약 없이 구매가 가능한 상황이다. 이에 따라 소모품을 별도로 구매하여 사용하는 턱끈에 관한 제도적 기준 마련이 시급한 현실이다.

3) 설문조사에서 성능에 대한 주관적인 의견에는 선진국에서 사용되는 고급형 안전모 도입 및 절차, 안전모 측면의 충격강도, 안전모의 경량화 등이 포함되었다. 국가별 안전모 충격 흡수성 시험에 대한 문헌 검토 결과 고소작업에서 안전대는 4m 이하 고소작업 시 떨어지는 사고(추락)에 대하여 역할을 하지 못하는 것으로 나타났다. 그 이유는 최하 사점 때문이며, 실제 건설업계에서 발생하는 떨어지는 사고(추락)를 분석한 결과에서도 알 수 있듯이 산업용 안전모를 착용한 상태에서 떨어지는 높이나 깊이에 따라 머리 부상 정도가 달라지는 것을 알 수 있었다.

이에 안전 인증을 통과하여 국내 유통되고 있는 ABE 형 산업용 안전모 50개 제품에 대하여 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 의거 전처리 과정을 포함하여 시험을 시행하였으며, 이를 나타내는 최고 전달 충격량 값을 측정하고 더 나아가 국내에서 성능 기준이 없는 안전모 측면 충격 범위를 임의로 설정하고 최적화된 측면 충격 흡수성 시험을 시행하여 산업재해 예방에 필요한 자료를 습득하여 보호 성능과 역할을 제안하였다.

보호구 안전 인증 고시 제2020-35호에 따른 안전모 충격 흡수성 시험 분석 결과 시중에 유통되는 안전모의 최고 충격전달력 값의 범위는 고온에서 2,600~ 4,108N이고, 저온에서 2,316~3,991N으로 측정되었다. 최고 전달 충격력 값이 4,450N을 초과하지 않았으며, 모체와 착장체의 기능이 상실되지 않아 성능 기준에 적합한 것으로 분석되었다.

또한, 미국에서 사용하고 있는 측면 충격에너지 시험장치를 갖고 안전모 측면 충격 흡수성 시험 분석 결과 안전모 전면(지면에서 50mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 4,282~5,465N이고, 저온에서 4,878~6,958N이며, 후면(지면에서 80mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 5,424~6,026N이고, 저온에서 4,730~6,566N이며, 좌측면(지면에서 50mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 5,940~6,456N이고, 저온에서 5,463~6,558N이며, 우측면(지면에서 100mm)의 최고 전달 충격력 값의 범위는 고온에서 3,589~5,610N이고, 저온에서 3,938~6,198N으로 분석되었다. 5개 제조사별 그룹 평균은 4,722~5,267N으로 분석되었다.

우리나라의 법령에서는 안전모 측면 최고 전달 충격력 값에 대한 성능 기준은 존재하지 않지만, 보호구 안전 인증 고시 제2020-35호 기준을 인 증받아 판매되는 제품 대부분이 안전모 정부 기준인 4,450N을 초과하고 있었다. 이는 산업현장에서 사용하는 안전모가 측면 부위에 충격이 가해졌

을 때 부상에 위험이 크다는 점을 확인한 것이며, 이는 사고 발생 시 측면이 사고위험에 노출되고, 머리 부상 확률이 높아질 것으로 예상된다. 정리하면 측면 사고의 다양한 원인으로 인해 미국에서 시행하고 있는 안전모의 측면 충격 성능 시험방법을 국내 기준에 적합하도록 도입할 필요가 있다.

우선 과제로 국내 실정에 맞는 안전모 사용자의 사고 발생 시 부상 예측이나 메커니즘에 관한 연구를 통해 안전모의 측면 최고 전달 충격력 N 값에 대한 범위설정이 필요하며, 그 기준은 미국에서 도입 중인 시험방법 등을 참고하여 국내 안전모의 특성을 높이는 노력이 필요할 것이다.

또한, 안전모는 타격 횟수가 증가함에 따라 누적 구조 손상을 입으며 큰 충격이 계속되면 충격 흡수 성능이 저하되므로, 안전모 측면 충격 흡수성 시험에서는 최고 전달된 충격량의 타격 횟수 제어 절차를 위한 일관된 충격량을 측정할 수 있는 시험장치를 개발할 필요가 있다고 판단된다.

5.2 연구의 한계점과 향후 연구

본 연구에서는 설문조사 내용 중 안전모 측면 충격에 관한 주관적 의견과 건설사가 보유한 자료만으로 조사가 이루어져 당시의 사고 과정이나 작업환경 그리고 사후관리에 관한 내용이 연구에 반영되지 못하였다. 또한, 설문조사에서 설문 대상이 전국 9개 건설 현장에 국한되어 있어 앞으로 측면 충격에 관한 설문 내용을 세분화하여 전 산업 분야 고위험업종에서 종사하는 근로자와 관리자의 의견 수렴과 직간접적인 사고 경험을 통해 산업용 안전모의 측면 개발 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

또한, 고용노동부의 산업재해 현황이나 안전보건공단에서 발간하는 문헌들을 조사하였으나, 머리 또는 안전모 충격 부위의 사고 당시 상황이나 메커니즘에 관한 자료를 확인할 수 없었다. 앞으로는 사고조사 보고서 작성 시 개인보호장비의 역할을 포함한 구체적인 부상 예측이나 메커니즘에 관한 분석이 추가된다면 안전모의 성능 향상을 위한 중요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

본 연구의 충격 흡수성 시험에서는 국내에서 유통되고 있는 안전모를 대상으로 평가하였다. 앞으로 선진국에서 사용되는 여러 형태의 안전모를 갖고 비교시험을 시행한다면 성능을 포함한 디자인 개발과 품질 개선 등 다양한 연구가 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA),
“Safety and Health Guide of Shipbuilding and Repair Industry” , p.
2, 2022.
- 2) S. R. Kim, “Review of criminal issues with respect to the
application of Act on Punishment of Serious Accidents” , pp. 2~26,
2022.
- 3) P. K. Kim, H. Y. Chae, S. I. Kim and K. H. Jung, “Relationship
Analysis of the Factors for Safety and Health Management System
Stipulated in the Serious Disasters Punishment Act with Accident
Statistics of Construction Industry” , J. Korean Soc. Saf., Vol. 37,
No. 4, pp. 44-50, 2022.
- 4) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA),
“Statistical Survey and Analysis of Industrial Disasters” , 2022.
- 5) Y. H. Lee, S. D. Lee, “A Study on Safety Consciousness for
Preventing Accident of the Shipbuilding Industry” , J. Korean Soc.
Saf., Vol. 13, No. 1, pp. 119-130, 1998.

- 6) Kyung-Su Seo, M.D., Soon-Tae Park, M.D., Woo-Song Ha, M.D., Sang-Kyung Choi, M.D., Soon-Chan Hong, M.D., Young-Joon Lee, M.D., Eun-Jung Jung, M.D., Chi-Young Jeong, M.D., Sang-Ho Jeong, M.D., Young-Tae Ju, M.D., "The Prognostic Significance of Injury Severity Score and Height of Fall in Free Fall Patients" , J. Korean Soc. Trauma., Vol. 22, No. 1, pp. 12~17, 2009.
- 7) Y. E. Kim, D. H. Nam, K. C. Wang, "An Analysis of the Child Head Impact Injury with Finite Element Model" , J. Korean Soc. Saf., Vol. 12, No. 4, pp. 169~179, 1997.
- 8) David A. Lombardi, Santosh K. Verma, Melanye J. Brennan, Melissa J. Perry, "Factors influencing worker use of personal protective eyewear" , Accident Analysis & Prevention, Vol 41, Issue 4, pp. 755-762, 2009.
- 9) Abeyskera. JD, Shahnava. H, "Ergonomics aspects of personal protective equipment: its use in industrially developing countries" , J. Human Ergol., Vol 17, Issue 1, pp. 67-79, 1988.
- 10) Farhang Akbar-Khanzadeh, Michael S. Bisesi, Ruben D. Rivas, "Comfort of personal protective equipment" , Applied Ergonomics, Vol 26, Issue 3, pp. 195-198, 1995.

11) Kang-yoon Kim, Young-Gyu Phee, Kyung-Jae Lee, Jung-Jin Kim, Youn-Ho Ki, Su-Yeon Kim, Jung-Ho Whang, “A study of survey for PPE selection and wearing and setup standard of PPE in Korea” , National Library of Korea, No. 4, 2008

12) local rule on occupation safety and health standard in Article 31

13) local rule on occupation safety and health standard in Article 32

14) local rule on occupation safety and health standard in Article 33

15) local rule on occupation safety and health standard in Article 34

16) Ministry of Employment and Labor Notice, “No. 2020-35 Safety Certification Notice for Protective Equipment” , 2020.

17) Ministry of Employment and Labor Notice, “No. 2020-36 Safety Certification Notice for Protective Equipment” , 2020.

18) J. H. Kim, “Regulations Amendment on Safety helmets of Personal Protective Equipment against Fall” , Department of Safety Engineering & Ergonomics Research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA, 2012.

19) The Council of the European Communities, “Council Directive of 21 December 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to personal protective equipment (89/686/EEC)” , p. 21, 1989.

20) The Council of the European Communities, “Council Directive of 30 November 1989 concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work (second individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) (89/655/EEC)” , pp. 13~17, 1989.

21) UK Department of Employment, “1989 No. 2209 Health and Safety The Construction (Head Protection) Regulations 1989” , 1989.

22) UK Employees and Workers, “Personal protective equipment at work: The Personal Protective Equipment at Work Regulations 1992 (as amended). Guidance on regulations” , 1992.

23) UK Department for Work and Pensions, “2005 No. 735 Health and Safety The Work at Height Regulations 2005” , pp. 3–5, 2005.

24) United States Department of Labor, “OSHA Regulations (Standards–29 CFR) 1910.135, Personal Protective Equipment– Head protection” , 2012.

25) United States Department of Labor, “OSHA Regulations (Standards–29 CFR) 1926.100, Personal Protective and Life Saving Equipment – Head Protection” , 2012.

26) J. H. Jeong, “Fact–finding and research for systematic development of the occupational safety and health market and industry” , Korean Occupational Health Association Occupational Health, Vol 259, pp. 58–59, 2009.

27) M. H. Sim, J. S. Yi, “A Study for Vitalization of Using Safety Helmet at the Construction Sites – Focused on Patents for Safety Helmet” , Korea Institute of Construction Engineering and Management, pp. 221–224, 2007.

28) Peter Halldin, Magnus Aare, Svein Kleiven and Hans von Holst, “Improved helmet design and test methods to reduce rotational induced brain injuries” , Karolinska Institute, 2003.

- 29) Y. G. Choi, "Shock absorption theory of industrial safety helmets" , J. Korean Soc. Saf., Vol. 6, No. 2, pp. 37–40, 1991.
- 30) M. H. Park, Y. W. Lee, Y. H. Lim, Y. M. Lee & M. C. Kang, "Optimal Design According to Impact Load of the Safety Helmet for Industry" , The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, p. 41, 2018.
- 31) E. G. Han, K. W. Um, J. S. Pack and S.W. Lee, "A Study on Evaluation to Safety of Fire-proof Safety Helmet" , Journal of Korean institute of fire science & engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 5–14, 1991.
- 32) Li-Tung Chang, Guan-Liang Chang, Ji-Zhen Huang, Shyh-Chour Huang, De-Shin Liu & Chih-Han Chang, "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.
- 33) B. M. Yu, J. S. Song, D. Kim, S. K. Lee and Y. H. Kim, "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.

- 34) K. I. Choi, M. K. Chung and M. Y. Chung, “FEM analysis for safety evaluation and design of the baseball helmet” , Journal of The Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 5, No. 10, pp. 458–465, 1994.
- 35) H. G. Kim, J. H. Shim, C. K. Kim, “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.
- 36) S. H. Cho, D. H. Kim, C. K. Kim, “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.
- 37) U. C. Shin, “Analysis of Collision Absorption Test on Safety Helmet” , Korean Society of Safety Management Sciences, No. 19, pp. 93–99. 2011.
- 38) W. B. Kim, “A Preliminary Study on Computer Vision Based Safety Helmet Detection in Construction” , Masters Dissertation, Pukyong National University Republic of Korea, 2018.
- 39) S. H. Kim, “A Study on the Application of Epoxy Resin-Based Fiber Reinforced Composite Materials for Industrial Safety Helmet Shell” , Doctoral Dissertation, Seoul National University of Science and Technology Republic of Korea, 2019.

- 40) Korean Standards Association, “KS G 6805:2021 safety helmets” , 2021.
- 41) International Standard, “ISO 3873:2012 Industrial safety helmets” , 2012.
- 42) The European Standard, “EN 397:2013 Specification for Industrial safety helmets” , 2013.
- 43) The European Standard, “EN 812:2012 Industrial bump caps” , 2012.
- 44) The European Standard, “EN 14052:2012 High performance industrial helmet” , 2012.
- 45) American National Standard for Industrial Head Protection, “ANSI/ISEA Z 89.1-2014” , 2014.
- 46) Japanese Industrial Standard, “JIS T 8131:2000 Industrial safety helmets” , 2000.
- 47) D. H. Kim, J. W. Lee, Y. W. Park, H. K. Lim, “A Questionnaire Survey on Utilization and Improvement Guides for Safety Signs in Industrial Fields” , J. Korean Soc. Saf., Vol. 21, No. 4, pp. 119-126, 2006.

48) S. C. Kim, Y. S. Ro, S. D. Shin, J. Y. Kim, “Preventive effects of safety helmets on traumatic brain injury after work-related falls” , International journal of environmental research and public health Vol. 13, No. 12, p. 1063, 2016.

49) A. Gilchrist, N. J. Mills, “Construction site workers helmets” , J. Occup. Accid. Vol. 9, No. 3, pp. 199–211, 1987.

50) A. A. Dos Santos, J. Sorce, A. Schonning, G. Bevill, “The influence of hard hat design features on head acceleration attenuation” , J. Appl. Biomech. Vol. 37, No. 2, pp. 80–86, 2021.

51) Constitution of the International Labor Organization, Minimum Age Recommendation, No. 146, 2020.

52) T. I. Harrison, N. J. Mills, M. S. Turner, “Jockeys head injuries and skull cap performance” , Proceedings of the IRCOBI Conference, pp. 11–13, 1996

53) Otte. D, Chinn. B, Doyle. D, Makitupa. S, Sturrock. K, & Schuller. E, “Contribution to final report of COST 327 project” , University of Hannover, 1999.

54) Richter, Martinus MD; Otte, Dietmar MSc; Lehmann, Uwe MD; Chinn, Bryan PhD; Schuller, Erich DSc; Doyle, David MD; Sturrock, Kate BS; Krettek, Christian MD, FRACS, “Head injury mechanisms in helmet-protected motorcyclists: prospective multicenter study” , Journal of Trauma and Acute Care Surgery Vol. 51, No. 5, pp. 948–958, 2001.

55) Kleiven. S, “Why Most Traumatic Brain Injuries are Not Caused by Linear Acceleration but Skull Fractures are” , Front Bioeng Biotechnol, Published Nov 7, 2013.

56) E. M. Hickling, “The Design of Head Protection for Tasks” , J. Occup. Accid. Vol. 8, No. 3, pp. 215–224, 1986.

57) Mayer. A, Salsi. S, “Industrial Safety Helmets, Evaluation of Tests, Criteria of Selection for the User” , Cahiers de Notes Documentaires, 2nd quarter 1977.

58) Michael Bottlang, Gina DiGiacomo, Stanley Tsai, Steven Madey, “Effect of helmet design on impact performance of industrial safety helmets” , Biomechanics Laboratory, Legacy Research Institute, Portland, Vol. 8, No. 8, e09962, 2022.

59) American National Standard for Industrial Head Protection, “ANSI/ISEA Z 89.1–1997” , 1997.

부록

A. 안전모 성능 향상 만족도 및 디자인 결정 요인 설문지

안전모 착용 만족도에 미치는 결정 요인 설문지

안녕하십니까? 귀하의 건승과 번창을 기원합니다.

본 설문은 건설 현장 종사자의 안전모 착용 만족도에 미치는 결정 요인을 찾기 위해 실시하는 설문입니다. 여러분의 귀중한 의견은 향후 안전모의 다양한 착용 성능을 개선하고 새로운 모델의 안전모를 제작하기 위한 기초 자료로 쓰이게 될 예정입니다. 따라서 귀하의 성실하고 신뢰성 있는 응답을 부탁드립니다. 아울러 본 설문의 기재 내용 중 개인적인 사항은 최소한의 사항으로 구성되어 있으며, 통계법 8조 및 9조에 의해 본 조사 이외의 목적으로는 전혀 사용되지 않음을 약속드립니다.

년 월
소 속 : 부경대학교 안전공학과
지도교수 : 장 성 록
이 름 : 심 상 우
연 락 처 :

일반 배경 문항

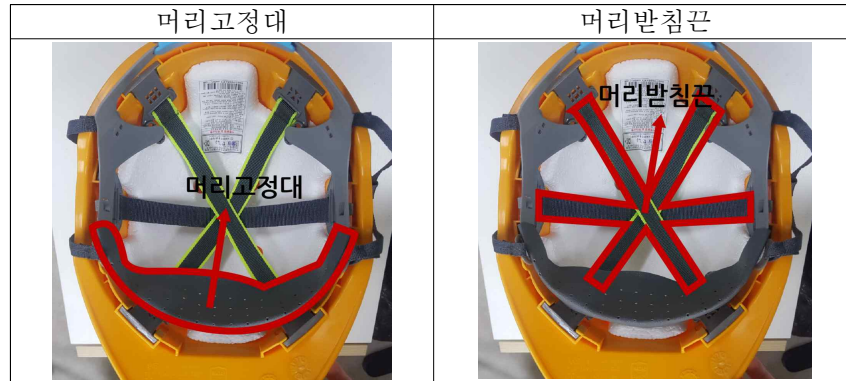
성 별	①__남자 ②__여자	연 령	만()세
근무 형태	원청사(), 협력사()	총 근무경력	()년
신체 치수	신장(키)_____cm , 체중_____kg		
공사 종류	건축(), 주택(), 토목(), 플랜트(), 전력()		
공종 분류	() ex) 원청사-소장, 공무, 공사, 전기, 설비, 설계, 토목, 관리, 안전 등 협력사-토공, 철골, 형틀, 철근, 전기, 설비, 소방, 통신, 습식, 설치 등		
건설현장 근무경력	① 1년 이하 ② 2~5년 ③ 5~10년 ④ 10~20년 ⑤ 20년 이상		
직종	현장소장(), 관리감독자(), 안전관리자(), 보건관리자(), 반장(), 기능공(), 일반공()		
참고사항	상기 항목들 중 여러 가지 공종 및 직종에 경험이 있더라도, 중복으로 체크하시면 안 되며 정확히 1곳만 체크 하도록 부탁드립니다.		

1. 안전모 모체와 착용실태



영역분류					
모체란? ABS, HDPE, PE, PP등의 수지/플라스틱 소재를 이용하여, 머리로 전해지는 1차 충격을 외부로부터 보호하기 위해 착용자의 머리부위에 덮는 주된 보호 장구의 덮개 외부면					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통이 다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
챙(차양)이 있어서 가리개 역할을 하고 있습니까?					
잘 모르겠다면 챙을 짧게 해서 보안경을 상향조절(분리기능) 할 수 있는 기능이 필요하다고 생각합니까?					
챙(차양)이 시야를 많이 가리고 있어서 위험성이 있다고 생각합니까?					
챙(차양)의 길이가 적절하다고 생각합니까? (현재 챙의 길이는 평균 35mm 이다.)					
현재 착용하는 안전모가 무겁다고 생각합니까?					
안전모를 얼마나 착용하면 안전모의 성능을 상실한다고 생각합니까?	① 3개월	② 6개월	③ 1년	④ 2년	⑤ 3년
교체주기가 필요하다면 착용 시 자외선 노출로 인한 안전모 플라스틱의 열 변형이나, 물 성치 변화 등으로 자체 내구성 하락이 주요인이라고 생각하십니까?					
안전모가 외부 충격(낙하, 비래)등을 한번이라도 받으면 어떤 경우라도 교체가 되어야 한다고 생각합니까?					

2. 안전모 착용체



영역 분류					
착장체란? 머리받침 끈, 머리고정대 및 머리받침 고리 등으로 구성되어 안전모를 머리부위에 고정시켜주며, 안전모에 충격이 가해졌을 때 착용자의 머리부위에 전해지는 충격을 완화시켜 주는 기능을 갖는 부품					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
머리받침 끈의 깊이가 얇아서 머리에 밀착되는 느낌이 부족하다고 생각합니까? (안전모 만족도)					
머리받침 끈에 쿠션감이나 탄력성이 있으면 좋겠습니까?					
머리받침 끈으로 인해 탈모증상이나 혈압 상승이 일어난다고 생각합니까? (혈액순환을 계속적으로 방해하는 이유)					
머리고정대 이마 부분에 땀으로 인한 악취를 경험한 적이 있습니까? (개선이 필요하다고 생각합니까?)					

3. 안전모 충격흡수재



영역 분류					
충격흡수재란? 안전모에 외부의 충격이 가해졌을 때, 착용자의 머리부위에 전해지는 충격을 완화하기 위하여 모체의 내면에 붙이는 충격 흡수를 위한 스티로폼 등의 부품					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
외부 충격시 충격흡수재가 충격을 완화하지 못할 꺼라 생각하십니까? (불안하게 생각한 적이 있습니까?)					
충격흡수재를 통해서 추가적으로 적용되었으면 하는 기능이 있습니까?					

4. 안전모 턱끈



영역 분류					
턱 끈이란? 안전모가 착용자의 머리부위에서 이탈/탈락 하는 것을 방지하기 위해 턱에 고정하는 스트랩(천)을 포함한 부품					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇 다
턱 끈에서 발생하는 냄새 때문에 불쾌하거나 스트레스 받은 경험이 있습니까?					
턱 끈의 소재가 피부에 닿아 트러블이 발생하거나 가려움증이 유발된 적이 있습니까?					
턱 끈이 충격강도에 의해서 자동으로 풀려야 하는데 현재 착용중인 안전모의 턱 끈이 충격강도에 의한 풀림성이 있다고 생각합니까? (①풀림성이 있다고 생각한다. ②풀리지 않을 것이라고 생각한다. ③잘 모르겠다.)	① 있다	② 없다	③ 모르 겠다		

5. 안전모 통기구멍

영역 분류					
통기구멍이란? 통풍의 목적으로 안전모에 안쪽과 바깥쪽을 관통하는 공기가 통하는 통풍용 구멍					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
안전모에 통기구멍이 있었으면 좋겠다고 생각합니까?					
통기구멍이 모체에 열었다 닫았다 할 수 있는 구조로 제작되어 있으면 사용이 편리하다고 생각합니까?					

6. 안전모 전체 영역

영역 분류					
문항	선택				
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
안전모가 충격으로부터 머리를 실제로 보호할 수 있다고 생각합니까?					
안전모의 무게가 무겁다고 생각합니까? (현재 구매가능한 안전모의 평균 무게는 380그램 수준)					

7. 안전모 기능 개선

영역 분류					
문항	선택				
착용 중인 안전모에 가장 필요하다고 생각되는 기능은 무엇이라고 생각하십니까? (①카메라 ②LED후레쉬라이트 ③심장박동센서 ④뇌파측정센서 가스검출기 쓰러지면 알림서비스 구조요청 버튼) 두 개 이상 선택 가능 ⑤ 모두선택	①	②	③	④	⑤
	① 매우 그렇다	② 대체로 그렇다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇지 않다	⑤ 매우 그렇지 않다
만약 보안경에 가상현실(AR) 정보를 제공하는 추가기능의 제품이 있다면 착용할 의사가 있습니까?					
냉매를 이용해 온도를 낮춰주는 휴대용 에어컨이 출시된다면 안전모에 장착해서 착용할 의사가 있습니까?					

8. 보안경 영역



영역 분류					
문항	선택				
	① 매우 그렇다	② 대체로 그렇다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇지 않다	⑤ 매우 그렇지 않다
안전모와 보안경이 상향조절 방식으로 결합되어 있는 제품이 있다면 업무에 편리하다고 생각합니까?					
안경과 렌즈를 사용하는 사람에게 현재 판매중인 안전모와 보안경이 사용상 불편함과 기능저하로 인해 스트레스 유발로 이어져 사고위험이 높다고 생각하십니까?					
보안경에 빛을 차단하는 기능이 있었으면 좋겠습니까? (햇볕이 강한 날 자동으로 변하는 기능)					

9. 안전모 성능 추가 영역

영역 분류					
문항	선택				
	① 매우 그렇다	② 대체로 그렇다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇지 않다	⑤ 매우 그렇지 않다
스마트 기능이 있는 안전모는 실제로 사고예방에 도움이 될 것이라고 생각하십니까?					
스마트 안전모의 전체 무게가 다소 올라가지만 그 기능을 통해 사고예방을 하는 기술이 하루 빨리 도입되기를 희망하십니까?					
업무에 종사하시면서 안전모에 필요한 성능이나 개선점을 작성해 주십시오.					

10. 안전모를 착용하고 건설업에서 종사한 기간

영역 분류					
문항	선택				
	①	②	③	④	⑤
1년 중 평균 (①3개월, ②6개월, ③9개월, ④12개월)					
1일 평균 착용 시간 (①4시간이상, ②6시간이상, ③8시간이하, ④10시간이하, ⑤12이상)					
하루 평균 안전모를 살균, 소독, 일광건조, 기계 건조하는 시간 (①30분, ②1시간, ③2시간, ④3시간, ⑤건조를 못하고 있다.)					
	① 매우 그렇지 않다	② 대체로 그렇지 않다	③ 보통 이다	④ 대체로 그렇다	⑤ 매우 그렇다
안전모 착용 시 불편한 점을 개선하고 성능을 향상하기 위한 설문지가 유익하다고 생각하십니까?					
스마트 안전모가 출시한다면 적극적으로 착용을 해보고자 하는 의사가 있습니까?					