

[Research Paper]

산불진화대원용 안전헬멧에 대한 성능평가 기준 연구

홍승태 · 정재한* · 김성용** · 권춘근***†

한국소방산업기술원 기술연구소 책임연구원, *한국소방산업기술원 기술연구소 수석연구원,

**국립산림과학원 산림방제연구과 연구사

Performance Evaluation Criteria for Safety Helmets of Forest Firefighting Crews

Seung-Tae Hong · Jae-Han Jeong* · Sung Yong Kim** · ChunGeun Kwon***†

Senior Research Engineer, R&D Lab. Korea Fire Institute,

*Principal Research Engineer, R&D Lab. Korea Fire Institute,

**Junior Scientist, Dept. of Forest Conservation, National Institute of Forest Science

(Received September 16, 2019; Revised October 1, 2019; Accepted October 1, 2019)

요 약

산불진화대원의 안전 확보와 작업능률 향상을 위해 안전헬멧에 대한 성능평가 기준을 개발하였다. 산불진화대원용 안전헬멧에 대한 기준이 현재 국내에 없기 때문에 한국소방산업기술원(KFI)에서 운용중인 소방대원용 헬멧에 대한 기준을 기초로 하여 연구를 시작하였다. 관계자 의견 수렴 및 외국 기준의 검토를 통하여 26개 시험항목 중 15개 시험항목을 제외하고 11개 시험항목을 선정하였다. 2 종류의 일반 안전헬멧과 하나의 소방대원용 헬멧을 시료로 하여 KFI 기준을 적용하여 시험하고 그 결과를 비교하였다. 시험 결과 일반 안전헬멧은 착용체와 턱끈의 기능이 기준에 미달하였고 특히 PE나 ABS 재질은 열에 취약함을 확인하였다. KFI 기준과 ISO 16073, NFPA 1977, NFPA 1971 및 BS EN 443의 판정기준을 비교하여 우리나라 산불진화대원들의 작업 환경에 적합한 11개의 시험항목과 판정기준을 최종 선정하였다.

ABSTRACT

To secure the safety and improve the work efficiency of forest firefighting crews, performance evaluation criteria for safety helmets were developed in this study. Because the standards for forest firefighting safety helmets are not available in Korea, we began our study based on the standards for firefighting safety helmets used by the Korea Fire Institute (KFI). Eleven test items were selected excluding 15 other items out of the 26 test items that, through the consultation of stakeholders and the review of foreign standards, were initially included in our study. Two types of general safety helmets and one firefighting helmet were tested by applying KFI standards, and the results were compared. The general safety helmets did not meet the standards of the retention system and chin strap. Additionally, polyethylene and acrylonitrile butadiene styrene materials were found to be especially weak under heat conditions. We compared the criteria of KFI, International Standardization Organization (ISO) 16073, National Fire Prevention Association (NFPA) 1977, NFPA 1971, and British Standards European Norm (BS EN) 443, and finally selected 11 test items and their acceptance criteria suitable for the work environment of forest firefighting crews in Korea.

Keywords : Safety helmet, Performance evaluation criteria, Forest firefighting crews

1. 서 론

산림청의 산불관리통합규정 안전수칙에는 산불진화대원에 게 안전장비를 최대한 지급하여야 한다고 규정하고 있다⁽¹⁾. 이에 따라 각 자치단체에서는 산불진화 안전장비 13종을 지정하여 산불진화대원들에게 보급하고 있다.

국내에는 산불 진화용 헬멧이 별도로 지정되어 있지 않기 때문에 산불진화대원들은 일반 안전헬멧을 사용하고 있다. 한 지방자치단체에서 산불진화용 안전장비를 구매하기 위해 제시했던 규격서에는 안전헬멧의 재질을 ABS로 지정하고 야광 좌우 반사테를 사용하라는 것이 요구사항이었다. 산불진화대원의 안전과 제품의 품질 관리를 위해서는

† Corresponding Author, E-Mail: chungeun@korea.kr. TEL: +82-2-961-2685, FAX: +82-2-961-2699

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

Table 1. Test Items First Screened for Safety Helmet

KFI Test Items	Acceptance	Reason for Exclusion
1. Structure	○	-
2. Material I (Corrosion Resistance)	○	-
3. Material I (Temperature-Humidity)	○	-
4. Material II (Sweat)	○	-
5. Material II (Hair-oil)	○	-
6. Penetration Resistance	○	-
7. Shock Absorption	○	-
8. Retroreflectivity	○	-
9. Waterproof Performance	×	No waterproof performance required
10. Burning Behavior	○	-
11. Burning Behavior (Shroud)	×	Not applicable for testing on shroud
12. Heat Penetration	○	
13. Abrasion Resistance	×	Not applicable for testing on face lens
14. Electrical Insulation	×	No electrical insulation required
15. Visible Light Transmittance	×	Not applicable for testing on face lens
16. Parallelism	×	
17. Refractive Index	×	
18. Impact Strength	×	
19. Field of Vision	×	
20. Water Resistance	×	Not applicable for testing on shroud
21. Chin Strap Strength	○	-
22. Chin Strap Release	○	-
23. Lateral Crushing	○	
24. Retention System Effectiveness	○	
25. Radiant Heat Resistance	×	Not applicable for testing on face lens
26. Fall	×	

안전헬멧의 성능을 명확하게 제시할 필요가 있다.

산불진화대원의 인명 피해 방지와 작업 효율 향상을 위해서는 개인보호장비에 대한 표준 규격이 반드시 필요하다. 이번 연구에서는 산불진화대원의 주요 업무 및 작업 환경에 대한 검토를 거친 후, 산불진화대원의 필수 보호 착용 도구 중 안전헬멧에 대한 성능평가 기준을 제안하고자 하였다. 여기서 기준이란, 어떤 품목에 대해 성능 평가방법과 적합·부적합 판정 방법을 규정한 것을 말한다.

2. 시험 항목 선정

2.1 KFI 기준(소방용 진압헬멧의 KFI 인정기준)

산불진화대원용 안전헬멧에 대한 기준이 현재 국내에 없기 때문에 한국소방산업기술원(KFI)에서 운용중인 「소방용 진압헬멧의 KFI 인정기준」⁽²⁾을 기초로 하여 연구를 시작하였다. 산불진화대원이든 소방대원이든 작업 현장에서 부상을 방지하고 작업효율을 향상시키기 위한 목적으로 개인보호장비를 사용하기 때문에 개인보호장비가 갖추어야 할 요구사항들은 비슷하다. 그러나 산불진화대원과 소방대원은 주요 업무와 작업 환경이 많이 다르기 때문에 차이점

들을 고려하여 시험항목들을 선정해야 하며 성능에 대한 요구 수준에도 차이를 두어야 한다.

「소방용 진압헬멧의 KFI 인정기준」에 있는 26개의 시험항목을 기본으로 하여 관계자(산불진화대원) 의견 수렴 및 자료 검토를 통하여 관계가 없는 시험항목들을 걸러내었다. 소방용 헬멧의 안면렌즈, 물받이와 관련된 시험들은 해당이 없기 때문에 제외하였다. 그리고 산불 진화작업에서 전기절연과 완전한 방수성능까지는 필요하지 않기 때문에 관련 시험항목들을 제외하였다. 이렇게 26개 시험 항목 중 12개 시험항목을 제외하고 14개 시험항목을 1차로 선정하였다. 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

2.2 국내외 기준 비교 및 시험항목 선정

산불진화대원용 안전헬멧에 대한 시험항목을 선정하기 위해 2차로 외국의 기준에 있는 시험항목들을 검토하였다. 검토한 외국 시험기준들을 Table 2에 나타내었다. ISO 16073⁽³⁾과 NFPA 1977⁽⁴⁾은 산불과 관련된 개인보호장비에 대한 기준이고 NFPA 1971⁽⁵⁾과 BS EN 443⁽⁶⁾은 건축물 화재와 관련된 개인보호장비에 대한 기준이다.

1차로 걸러진 14개의 시험항목들과 외국 기준들의 시험항




Table 2. Foreign Test Standards for Safety Helmet

Standards	Title
ISO 16073 (2011)	Wildland firefighting personal protective equipment - requirements and test methods
NFPA 1971 (2013)	Standard on protective ensembles for structural fire fighting and proximity fire fighting
NFPA 1977 (2016)	Protective clothing and equipment for wildland fire fighting
BS EN 443 (2008)	Helmets for fire fighting in buildings and other structures

Table 3. Comparison of KFI Test Items and Foreign Standards for Safety Helmet

KFI Test Items	ISO 16073	NFPA 1971	NFPA 1977	BS EN 443
1. Structure	○	○	○	○
2. Material I (Corrosion Resistance)		○		
3. Material I (Temperature·Humidity)				
4. Material II (Sweat)				
5. Material II (Hair-oil)				
6. Penetration Resistance	○	○	○	○
7. Shock Absorption	○	○	○	○
8. Retroreflectivity		○	○	
9. Burning Behavior	○	○		○
10. Heat Penetration		○	○	○
11. Chin Strap Strength		○	○	○
12. Chin Strap Release				○
13. Lateral Crushing	○			○
14. Retention System Effectiveness			○	○

Table 4. Safety Helmets Used for Testing

Types of Helmet			
	Safety Helmet 1	Safety Helmet 2	Firefighting Helmet
Material	PE	ABS	PEI
Weight	426 g	389 g	790 g
Usage	General	General	Firefighting & Rescue

목을 비교하여 Table 3에 나타내었다. 재료에 대한 온도·습도 시험, 땀 시험 및 두발유 시험은 다른 외국기준에서 찾아볼 수 없었다. 따라서 이 3개 시험항목을 제외한 11개 항목들을 산불진화대원용 안전헬멧에 대한 시험항목으로 선정하였다.

3. 시 험

2 종류의 일반 안전헬멧과 하나의 소방대원용 헬멧에 대해 KFI 기준을 적용하여 시험하고 그 결과를 비교하였다. 앞에서 선정된 11개 시험항목 중에서 구조, 내식성, 반사성능 시험을 제외하고 나머지 8가지 항목에 대해 시험하였다.

산불진화대원용 안전헬멧의 구조는 고용노동부의 보호구 안전인증 고시에서 규정하고 있는 헬멧에 대한 기준⁽⁷⁾을 적용하였다. 내식성 시험은 금속 재질이 있는 경우에만 적용하는 시험이므로 생략하였다. 반사성능 시험은 헬멧에 부착되는 형광 반사체의 반사성능을 측정하는 것이기 때문에 산불진화대원용과 소방대원용을 구별할 필요가 없으며 기존의 KFI 기준을 그대로 적용해도 무방하다.

3.1 시료

시험에 사용된 3가지 안전헬멧에 대한 특성을 Table 4에 나타내었다. 일반용 안전헬멧은 PE (Polyethylene)와 ABS



Figure 1. Penetration resistance test.

Table 5. Results of Penetration Resistance Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI Standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method 0.45 kg of steel weights shall be dropped freely at a height of 3 m • Criteria Penetration distance ≤ 9.5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Front : 4.1 mm • Back : 5.4 mm • Left : 7.7 mm • Right : 4.4 mm • Up : 5.0 mm 	○
Safety Helmet 2		<ul style="list-style-type: none"> • Front : 5.1 mm • Back : 4.9 mm • Left : 4.7 mm • Right : 4.7 mm • Up : 5.2 mm 	○
Firefighting Helmet		<ul style="list-style-type: none"> • Front : 4.3 • Back : 4.5 • Left : 4.7 • Right : 4.6 • Up : 5.1 	○

(Acrylonitrile butadiene styrene) 재질이며 소방 구조용 헬멧은 PEI (Polyether imide) 재질이다. PEI는 열보호 성능이 우수한 반면 가격이 비싸다. 일반용 안전헬멧은 불에 약한 스티로폼이 충격 흡수제로 사용되어서 가볍기는 하지만 산불진화용으로서는 적합하지 않다. 소방 구조용 헬멧은 충격 흡수제 재질이 PE이다. 소방 구조용 헬멧은 무게가 약 790 g으로 일반 안전헬멧에 비해 무게가 약 2배 정도 무겁다.

3.2 시험 방법

KFI에서 운용중인 「소방용 진압헬멧의 KFI 인정기준」⁽²⁾에서 정한 시험방법과 판정기준을 8개의 시험항목에 적용하여 실시하였다. 각 시험방법과 판정기준은 시험결과에 요약하여 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 내관통성 시험

내관통성 시험은 0.45 kg의 철제 추를 3 m 높이에서 헬

멧에 자유낙하시켜 관통거리를 측정하는 시험이다. 이 시험은 헬멧의 앞, 뒤, 좌, 우 측면 및 윗면에 대해 실시하여 모두 기준을 충족하여야 적합 판정을 받는다. 시험 장면을 Figure 1에 나타내었고 시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 3 종류의 헬멧 모두 앞, 뒤, 좌, 우, 윗면에 대해 관통거리가 9.5 mm 이하로 측정되어 적합 판정을 받았다.

4.2 충격흡수성 시험

충격흡수성 시험은 3.58 kg의 철제 추를 1.5 m 높이에서 헬멧에 자유낙하시켜 충격력을 측정하는 시험이다. 이 시험도 헬멧의 앞, 뒤, 좌, 우 측면 및 윗면에 대해 실시하여 모두 기준을 충족하여야 적합 판정을 받는다. 시험 장면을 Figure 2에 나타내었고 시험 결과를 Table 6에 나타내었다. 일반 안전헬멧은 2개 모두 최고 전달 충격력이 4,540 N을 초과한 경우가 있기 때문에 부적합 판정을 받았으며 소방 구조용 헬멧은 적합 판정을 받았다.



Figure 2. Shock absorption test.

Table 6. Results of Shock Absorption Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI Standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method 0.38 kg of steel weights shall be dropped freely at a height of 1.5 m • Criteria Shall not transmit a force of more than 4,540 N Shall maintain the function of shell and retention system 	<ul style="list-style-type: none"> • Front : 15,217.3 N • Back : 2171.2 N • Left : 11,799.7 N • Right : 9,552.5 N • Up : 2,861.3 N 	×
Safety Helmet 2		<ul style="list-style-type: none"> • Front : 4,729.8 N • Back : 2,401.2 N • Left : 12,501.0 N • Right : 9,785.9 N • Up : 2,256.5 N 	×
Firefighting Helmet		<ul style="list-style-type: none"> • Front : 3,325.3 N • Back : 2,857.6 N • Left : 3,517.3 N • Right : 3,479.5 N • Up : 2,765.1 N 	○

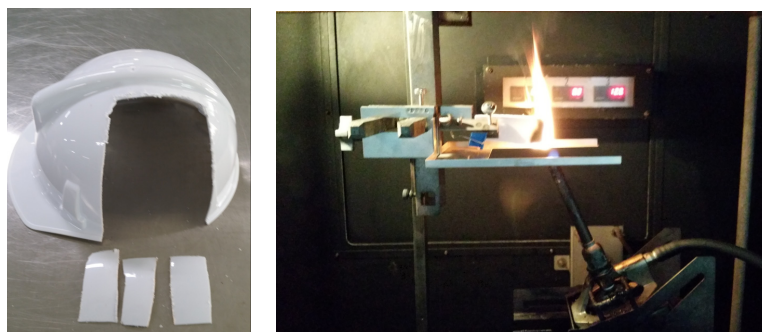


Figure 3. Burning behavior test.

4.3 난연성 시험

난연성 시험은 헬멧 시편에 30초간 불꽃 접촉을 한 후 탄화길이를 측정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 3에 나타내었고 시험 결과를 Table 7에 나타내었다. 일반 안전헬멧은 2개 모두 불에 완전히 타버려 부적합 판정을 받았으

며 소방 구조용 헬멧은 탄화길이가 25 mm 이하로 측정되어 적합 판정을 받았다.

4.4 내열성 시험

내열성 시험은 헬멧을 260 °C의 항온조에 5분간 노출시

Table 7. Results of Burning Behavior Test for Safety Helmets (○: pass, ×: fail)

Types of Helmet	KFI standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test method Contact a flame for 30 s 	Burn out	×
Safety Helmet 2		Burn out	×
Firefighting Helmet	<ul style="list-style-type: none"> • Criteria Char length ≤ 25 mm 	20 mm	○



Figure 4. Heat penetration test.

Table 8. Results of Heat Penetration Test for Safety Helmets (○: pass, ×: fail)

Types of Helmet	KFI standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test method Exposure at 260 °C for 5 min 	melt	×
Safety Helmet 2		melt	×
Firefighting Helmet	<ul style="list-style-type: none"> • Criteria Shall be no separation, melting, dripping or deformation 	No problem	○

켜 열변형이 생기는지 여부를 판정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 4에 나타내었고 시험 결과를 Table 8에 나타내었다. 일반 안전헬멧은 2 개 모두 Figure 4에서 보는 바와 같이 전체가 용융되어 부적합 판정을 받았으며 소방 구조용 헬멧은 열변형이 발생하지 않아 적합 판정을 받았다.

4.5 턱끈 강도 시험

턱끈강도 시험은 턱끈에 450 N의 하중을 1분간 가하여 턱끈이 떨어지거나 손상이 생기는지 여부를 판정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 5에 나타내었고 시험 결과를 Table 9에 나타내었다. 일반 안전헬멧 1은 턱끈에 하중을 걸 수 없는 구조여서 시험이 불가하였다. 일반 안전헬멧 2는 턱끈이 모체에서 탈착되어 부적합 판정을 받았다. 소방 구조용 헬멧은 어떠한 이상도 발견되지 않아 적합 판정을 받았다.

4.6 턱끈 풀림 시험

턱끈풀림 시험은 초기 150 N의 하중에서 턱끈이 풀어질 때까지 분당 20 N의 하중을 턱끈에 가하여 턱끈이 풀어지는 하중을 측정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 6에 나타내었고 시험 결과를 Table 10에 나타내었다. 일반 안전헬멧 1은 턱끈에 하중을 걸 수 없는 구조여서 시험이 불가하였다. 일반 안전헬멧 2는 468 N의 하중에서 턱끈이 풀어져서 부적합 판정을 받았다. 소방 구조용 헬멧은 680 N의 하중에서 턱끈이 풀어져서 적합 판정을 받았다.

4.7 측면변형 시험

측면변형 시험은 평행판 사이에 헬멧을 놓고 분당 100 N의 하중으로 430 N이 될 때까지 헬멧에 하중을 가하고 30 초간 유지하여 헬멧이 변형되는지 여부를 판정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 7에 나타내었고 시험 결과를 Table 11에 나타내었다. 일반 안전헬멧은 최대 측면변형이 각각



Figure 5. Chin strap strength test.

Table 9. Results of Chin Strap Strength Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI Standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method Applying a force of 450 N for 1 min • Criteria Shall not exhibit any breakage, and shall not stretch or slip more than 30 mm 	Can't be Tested	-
Safety Helmet 2		Break	×
Firefighting Helmet		No Problem	○



Figure 6. Chin strap release test.

Table 10. Results of Chin Strap Release Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI Standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method Applying a Force of 20 N per min from the initial 150 N until the chin strap is released • Criteria Shall be released between 500 N~1,000 N 	Can't be Tested	-
Safety Helmet 2		468 N	×
Firefighting Helmet		680 N	○

62 mm, 67 mm로 측정되어 모두 부적합 판정을 받았다. 소방 구조용 헬멧은 최대 측면변형이 29 mm, 잔여 변형이 2 mm로 측정되어 적합 판정을 받았다.

4.8 이탈 시험

이탈 시험은 헬멧을 머리 모형에 고정시키고 17.5 cm 높이에서 10 kg의 추를 헬멧에 낙하시켜 헬멧이 벗겨지는지 여부를 판정하는 시험이다. 시험 장면을 Figure 8에 나타내

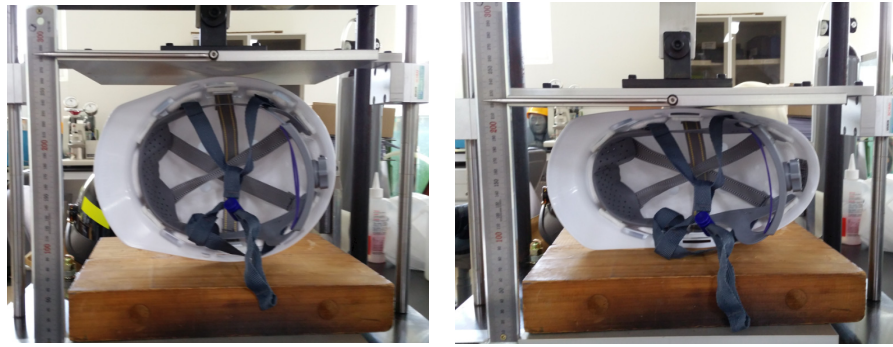


Figure 7. Lateral crushing test.

Table 11. Results of Lateral Crushing Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method Applying a force of 100 N per min up to 430 N, and then holding for 30 s • Criteria Maximum lateral deformation ≤ 40 mm Residual deformation ≤ 15 mm 	Maximum : 62 mm Residual : 6 mm	×
Safety Helmet 2		Maximum : 67 mm Residual : 7 mm	×
Firefighting Helmet		Maximum : 29 mm Residual : 2 mm	○



Figure 8. Retention system effectiveness test.

Table 12. Results of Retention System Effectiveness Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Types of Helmet	KFI Standard	Result	Acceptance
Safety Helmet 1	<ul style="list-style-type: none"> • Test Method Dropping 10 kg of falling weight at 17.5 cm height 	Come off	×
Safety Helmet 2		Come off	×
Firefighting Helmet	<ul style="list-style-type: none"> • Criteria The helmet shall not come off the headform 	Don't come off	○

있고 시험 결과를 Table 12에 나타내었다. 일반 안전헬멧은 2개 모두 벗겨져서 부적합 판정을 받았으며 소방 구조용 헬멧은 헬멧이 벗겨지지 않아 적합 판정을 받았다.

4.9 고찰

앞에서 산불진화대원용 안전헬멧에 대한 시험 항목을 11개로 선정하였다. 이어서 산불진화대원의 작업 환경과 안전에 대한 요구사항을 고려하여 11개 시험항목에 대한

Table 13. Comparison of Main Characteristics of Forest Firefighting Crews and Firefighters

	Forest Firefighting Crews	Firefighters
Main Work	<ul style="list-style-type: none"> • Build a fire fighting line • Mop-up and patrol 	<ul style="list-style-type: none"> • General fire and building fire suppression • Disaster site life-saving
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> • On foot (long distance walk) 	<ul style="list-style-type: none"> • Move to fire scene by fire truck
Working Time	<ul style="list-style-type: none"> • Long time (it takes days or months) 	<ul style="list-style-type: none"> • The fire is suppressed within one day unless it is a particularly large.
Professionalism	<ul style="list-style-type: none"> • Contract worker (lack of expertise) • Aging 	<ul style="list-style-type: none"> • Public official • Expert firefighters trained
Requirements	<ul style="list-style-type: none"> • First: lightweight, comfort • Second: thermal protection performance 	<ul style="list-style-type: none"> • First : thermal protection performance • Second : lightweight, comfort

Table 14. Results of KFI Standard Test for Safety Helmets (○ : Pass, × : Fail)

Test Items (KFI)	Safety Helmet 1 (PE)	Safety helmet 2 (ABS)	Firefighting Helmet (PEI)
Penetration Resistance	○	○	○
Shock Absorption	×	×	○
Burning Behavior	×	×	○
Heat Penetration	×	×	○
Chin Strap Strength	Can't be tested	×	○
Chin Strap Release	Can't be tested	×	○
Lateral Crushing	×	×	○
Retention System Effectiveness	×	×	○

판정기준을 정하여야 한다. 일반적으로 일반 개인보호장비에 대한 기준보다 소방대원용 개인보호장비에 대한 기준이 더 엄격하다. 한국소방산업기술원에서는 소방대원용 개인 보호장비에 대한 기준을 운용하고 있으나, 그 기준을 산불진화대원용 개인보호장비에 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 소방대원과 산불진화대원의 업무 특성 및 환경에 차이가 있기 때문이다. Table 13에 산불진화대원과 소방대원의 업무특성을 비교하여 나타내었다⁽⁸⁾.

산불진화대원은 산불에 맞서 직접 진화하기보다는 방어선 구축, 잔불 정리 및 뒷불 감시가 주요 임무이다. 산불은 그 특성상 진화작업이 장기화되는 경우가 많으며, 산불진화대원은 장거리를 도보로 이동해야 하기 때문에 장비의 경량성과 쾌적성이 우선적으로 요구된다. 반면 소방대원은 화재 현장까지 소방차를 타고 이동하여 현장에서 직접 화재 진압을 해야 하므로 장비의 열보호성능이 우선적으로 요구된다. 소방대원은 공무원으로서 훈련을 통해 숙달된 전문 화재진압 대원임에 비해 산불진화대원은 대부분 계약직이고 고령화로 인해 작업에 대한 전문성이 떨어지므로 장비의 경량성에 대한 요구는 더 크다⁽⁹⁾.

산불진화대원들은 현재 일반용 개인보호장비를 사용하고 있다. 잔불 정리와 뒷불 감시가 주요 업무라 하더라도 산불 현장에선 항상 불의 위협에 노출되어 있기 때문에 일반용 개인보호장비로는 안전에 대한 요구 조건을 충족시킬

수 없다. 따라서 소방용 장비의 성능까지는 아니더라도 일반용 안전장비보다는 성능 수준이 높은 새로운 성능평가 기준을 찾고자 하였다.

2 종류의 일반용 안전헬멧과 하나의 소방 구조용 안전헬멧에 대해 KFI 인정기준의 시험 방법에 따라 8개 항목의 시험을 수행한 결과를 Table 14에 나타내었다. Table 14에서 보는 바와 같이 PE와 ABS 재질의 일반 안전헬멧은 내관통성 시험 1개 항목에서만 적합 판정을 받은 반면, 소방 구조용 안전헬멧은 8개 시험항목에서 모두 적합 판정을 받았다.

산불진화대원용 안전헬멧도 어느 정도의 열에는 견딜 수 있도록 재질을 개선할 필요가 있음을 확인하였다. 또한 충격에 견딜 수 있고 안정적인 착용을 위해서는 모체와 착용체의 구조 및 턱끈의 기능을 개선할 필요가 있음을 확인하였다.

안전헬멧에 대한 성능시험의 판정기준을 검토하기 위하여 앞에서 시험했던 항목들에 대해 KFI 기준과 외국의 기준들을 비교하여 Table 15에 나타내었다. ISO 16073과 NFPA 1977은 산불진화대원용 개인보호장비에 관한 기준이고 NFPA 1971과 BS EN 443 기준은 소방대원용 개인보호장비에 대한 기준이다. 열보호 성능과 열에 대한 내구성 관련 시험들은 소방대원과 산불진화대원의 작업환경이 다르기 때문에 판정기준에 차이가 있어야 한다. 따라서 판정

Table 15. Comparison of Performance Test Criteria for Safety Helmets

Test Items	KFI	ISO 16073	NFPA 1977	NFPA 1971	BS EN 443
Penetration Resistance	<ul style="list-style-type: none"> Penetration distance \leq 9.5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Shall exhibit no contact between the penetration striker and the headform 	<ul style="list-style-type: none"> Shall exhibit no contact between the penetration striker and the headform 	<ul style="list-style-type: none"> Shall exhibit no electrical or physical contact between the penetration striker and the head form 	<ul style="list-style-type: none"> Shall exhibit no contact between the penetration striker and the headform
Shock Absorption	<ul style="list-style-type: none"> Force \leq 4,540 N Shall maintain the function of shell and retention system 	<ul style="list-style-type: none"> Force \leq 5,000 N 	<ul style="list-style-type: none"> Average Force \leq 3,780 N Maximum Force \leq 4,450 N 	<ul style="list-style-type: none"> Force (Top) \leq 3,780 N Maximum impact acceleration (top) \leq 1,471.5 $\frac{m}{s^2}$ Maximum impact acceleration (front, back, sides) \leq 2,943.0 $\frac{m}{s^2}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Force \leq 15 Kn
Burning Behavior	<ul style="list-style-type: none"> Contact a flame for 30 S Char length \leq 25 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Contact a flame for 10 S Shall not burn with the emission of flame after a period of 5 S has elapsed after removal of the flame 	—	<ul style="list-style-type: none"> Contact a flame for 15 S Shall not show any visible afterflame or glow after a period of 5 S has elapsed after removal of the flame 	<ul style="list-style-type: none"> Shall not show any drip during the whole test and any visible flame or glow after 5 S following removal of the flame
Heat Penetration	<ul style="list-style-type: none"> Exposure at 260 °C for 5 min Shall be no separation melting, dripping or deformation 	—	<ul style="list-style-type: none"> Exposure at 260 °C for 5 min Shall not have any deformation of the brim or peak exceeding 25% of its original length 	<ul style="list-style-type: none"> Exposure at 260 °C for 5 min Shall be no separation melting, dripping or ignition 	<ul style="list-style-type: none"> Exposure at 90 °C for 20 min Shall be no separation melting, dripping or ignition
Chin Strap Strength	<ul style="list-style-type: none"> Applying a force of 450 N for 1 min Shall not exhibit any breakage Shall not stretch or slip more than 30 mm 	—	<ul style="list-style-type: none"> Applying a force of 225 N for 1 min Shall not exhibit any breakage Shall not stretch or slip more than 38 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Applying a force of 450 N for 1 min Shall not exhibit any breakage Shall not stretch or slip more than 20 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Maximum elongation of the whole system shall not exceed 20 mm for a load of 250 N
Chin Strap Release	<ul style="list-style-type: none"> Shall be released between 500 N~1,000 N 	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> Shall be released between 500 N~1,000 N
Lateral Crushing	<ul style="list-style-type: none"> Maximum lateral deformation $<$ 40 mm Residual deformation $<$ 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Maximum lateral deformation $<$ 40 mm Residual deformation $<$ 15 mm 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> Maximum lateral deformation $<$ 40 mm Residual deformation $<$ 15 mm
Retention System Effectiveness	<ul style="list-style-type: none"> Dropping 10 kg of falling weight at 17.5 cm height Shall not come off the headform 	—	—	—	<ul style="list-style-type: none"> Dropping 10 kg of falling weight at 17.5 cm height Shall not come off the headform

기준에 차이가 있을 경우 ISO 16073과 NFPA 1977 기준을 우선적으로 수용하였다. 그러나 안전헬멧의 기계적·물리적 내구성 관련 시험들은 소방대원과 산불진화대원 간의 판정 기준에 크게 차이를 둘 필요가 없다.

Table 15를 참조하여 산불진화대원용 안전헬멧의 성능평가 판정기준을 선정하였다. 내관통성 시험, 충격흡수성 시

험, 난연성 시험에 대해서는 산불진화대원용 개인보호장비에 대한 기준인 ISO 16073을 수용하였다. 내열성 시험의 경우 다른 기준들은 260 °C에서 5분간 노출하는데 비해 BS EN 443 기준은 90 °C에서 20분간 노출하는 조건이었다. 산불진화대원들은 주불 진화보다는 잔불 진화가 주요 업무이고 또한 장시간 작업을 하기 때문에 BS EN 443 기준을 수

Table 16. Test Items and Criteria for Performance Evaluation of Forest Firefighting Safety Helmet

Test Items	Test Methods	Criteria
1. Structure		Notice of Protective Equipment Safety Certification (Ministry of Employment and Labor)
2. Corrosion Resistance	KFI	<ul style="list-style-type: none"> • Show no Corrosion • Shall not Peel Paint when Rubbed by Hand
3. Penetration Resistance	ISO 16073	• Shall Exhibit no Contact Between the Penetration Striker and the Headform
4. Shock Absorption	ISO 16073	• Force $\leq 5,000$ N
5. Retroreflectivity	KFI	• Coefficient of Retroreflection ≥ 100 cd/lx/m ² at 2° of Observation and -4° of Incidence
6. Burning Behavior	ISO 16073	• Shall not Burn with the Emission of Flame after a Period of 5 s has Elapsed after Removal of the Flame
7. Heat Penetration	BS EN 443	• Shall be no Separation Melting, Dripping or Ignition
8. Chin Strap Strength	NFPA 1977	<ul style="list-style-type: none"> • Shall not Exhibit any Breakage • Shall not Stretch or Slip more than 38 mm
9. Chin Strap Release	KFI	• Shall be Released between 500 N~1,000 N
10. Lateral Crushing	KFI	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Lateral Deformation < 40 mm • Residual Deformation < 15 mm
11. Retention System Effectiveness	KFI	<ul style="list-style-type: none"> • Dropping 10 kg of Falling Weight at 17.5 cm Height • Shall not Come off the Headform

용하였다. 턱끈강도 시험의 판정기준은 산불진화대원용 개인보호장비에 대한 기준인 NFPA 1977을 수용하였다. 턱끈 풀림 시험과 이탈 시험은 KFI와 BS EN 443에서만 적용하고 있는데 판정기준이 동일하므로 KFI 기준을 그대로 수용하였다. 측면변형 시험도 KFI와 ISO 16073 및 BS EN 443 기준이 동일하므로 KFI 기준을 그대로 수용하였다.

5. 결 론

산불진화대원용 안전헬멧에 대한 기준이 현재 국내에 없기 때문에 산불진화대원의 안전 확보와 작업능률 향상을 위해 산불진화대원용 안전헬멧에 대한 성능평가 기준을 제안하고자 하였다. 한국소방산업기술원(KFI)에서 운용중인 「소방용 진압헬멧의 KFI 인정기준」의 26개 시험항목을 기초로 하여 연구를 시작하였다. 그러나 산불진화대원과 소방대원은 주요 업무와 작업 환경이 많이 다르기 때문에 관계자(산불진화대원) 의견 수렴 및 외국 기준의 검토를 통하여 26개 시험항목 중 15개 시험항목을 제외하고 11개 시험항목을 선정하였다.

소방용 안전헬멧에 대한 성능평가 기준을 산불진화대원용 안전헬멧에 그대로 적용하기에는 요구 수준이 너무 높은 반면, 일반 안전헬멧은 산불 진화용으로 사용하기에 품질이 부족하다. 따라서 소방용 안전헬멧의 성능까지는 아니지만 일반 안전헬멧보다는 성능이 우수하고 산불 진화작업에 적합한 성능 수준을 찾기 위해 산불진화대원들이 사용하고 있는 2 종류의 일반 안전헬멧과 하나의 소방대원용

헬멧을 대상으로 KFI 기준을 적용하여 시험하고 그 결과를 비교하였다.

시험 결과 산불진화대원용 안전헬멧도 어느 정도의 열에는 견딜 수 있도록 재질을 개선할 필요가 있음을 확인하였다. 또한 충격에 견딜 수 있고 안정적인 착용을 위해서는 모체와 착용체의 구조 및 턱끈의 기능을 개선할 필요가 있음을 확인하였다. 이어서 판정 기준을 수립하는데 참고하기 위해 KFI 기준과 ISO 16073, NFPA 1977, NFPA 1971 및 BS EN 443의 판정기준을 비교하여 우리나라 산불진화대원들의 작업 환경에 적합한 판정기준들을 최종 선정하였다.

산불진화대원용 안전헬멧에 대한 11개의 성능평가 시험항목 및 판정기준을 Table 16에 나타내었다. 안전헬멧의 구조는 고용노동부의 보호구 안전인증 고시에서 규정하고 있는 헬멧에 대한 기준을 적용하였다. 내관통성 시험, 충격흡수성 시험, 난연성 시험은 ISO 16073 기준을, 내열성 시험은 BS EN 443 기준을, 턱끈강도 시험은 NFPA 1977 기준을 그리고 내식성 시험, 반사성능 시험, 턱끈풀림 시험, 측면변형 시험 및 이탈 시험은 KFI 기준을 적용하였다.

후 기

본 연구는 국립산림과학원의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. Forest Service Instructions 1307, "Integrated Regulation of Forest Fire Management", Korea Forest Service (2016).
2. KFI Certification 81, "KFI Certification for Firefighting Safety Helmet", Korea Fire Institute (2014).
3. ISO 16073, "Wildland Firefighting Personal Protective Equipment – Requirements and Test Methods", International Standardization Organization (2011).
4. NFPA 1977, "Standard on Protective Clothing and Equipment for Wildland Fire Fighting", National Fire Protection Association (2016).
5. NFPA 1971, "Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting", National Fire Protection Association (2013).
6. BS EN 443, "Helmets for Fire Fighting in Buildings and other Structures", British Standards Institution (2008).
7. Ministry of Employment and Labor, "Notice of Protective Equipment Safety Certification", Ministry of Employment and Labor Notice 64 (2017).
8. H. H. Kim, S. Y. Lee, J. H. Jeong, C. G. Kwon, H. Y. Ahn, and S. T. Hong, "A Study on Performance Evaluation Criteria for Safety Gloves for Forest Firefighting Crews", *Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 6, pp. 74-83 (2018).
9. S. T. Hong, J. H. Jeong, W. S. Lim, S. P. Kwon, S. Y. Lee, H. H. Kim, J. S. Lim and J. D. Moon, "Development of Performance Evaluation Criteria for Protective Equipmetn for Forest Firefighting Crews", Korea Fire Institute (2017).