

방탄헬멧의 방탄시험방법 개선에 관한 연구

구승환[†] · 김경민 · 박중화 · 송승환

국방기술품질원

A Study on Improvement of Ballistic Testing Method for Combat Helmet

Gu, Seung Hwan[†] · Kim, Kyung Min · Park, Jung Hwa · Song, Seung Hwan

Defense Agency for Technology and Quality

ABSTRACT

Purpose: Although the development of bulletproof helmets continues to be carried out, little has been improved in testing methods. Therefore, in this study, we studied the improvement of the test method of the domestic bulletproof helmet.

Methods: The causes of head damage in the battlefield and the trends of bulletproof helmet development in developed countries were analyzed. In addition, improvements were derived by comparing the test methods of bulletproof helmet in Korea and the United States.

Results: The results of the improvement by comparing the test methods of bulletproof helmet in Korea and the United States are as follows First, it is an addition to the scope of environmental treatment. Second, it is an addition to the level of protection. Third, the addition of the level of protection by impact.

Conclusion: This study considered testing methods to prevent head injuries to shocks that cannot be identified by conventional methods. In addition, it considered testing methods for various threats by improving protection performance to advanced countries' levels.

Key Words: Ballistic Testing Procedure, Combat Helmet, Bulletproof

● Received 11 March 2019, 1st revised 29 April, accepted 17 May 2019

† Corresponding Author(gsh999@hanmail.net)

© 2019, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

과학과 기술의 발달로 방호소재의 성능이 고도화되면서 다양한 방호물자가 등장하게 되었다. 방호물자는 크게 차량 등에 부착되는 방호장비와 개인의 신체를 보호하기 위한 개인 방호장비로 분류할 수 있다. 개인 방호장비 중 하나인 방탄헬멧은 전투 시 적의 탄자나 고폭탄 등의 파편으로부터 두부 손상을 방지하기 위한 필수 장비이다. 우리나라의 신형 방탄헬멧은 1997년부터 약 7년간 개발되었으며 2004년부터 전력화되어 현재까지 운용 중에 있다. 신형 방탄헬멧은 미군이 보유한 PASGT(Personal Armor System for Ground Troops) 헬멧보다 400 g 가볍고 동일한 방탄성능을 유지 할 수 있도록 개발되었다.

미국은 80년대에 PASGT 헬멧을 개발하여 운용해왔으며 현재는 과거의 PASGT 헬멧에서 성능이 개량된 ACH(Advanced Combat Helmet)와 ECH(Enhanced Combat Helmet), 그리고 FAST(Future Assault Shell Technology) 헬멧으로 발전해오고 있다. 최근 미국을 비롯한 선진국이 보유하고 있는 방탄헬멧은 경량화와 방탄성능의 향상, 여러 환경에서의 방탄성능 검증, 편의성 향상 등의 특성 위주로 개발이 진행되고 있다(구승환, 김경민, 2018). 이렇게 방탄헬멧의 성능이 향상됨에 따라 방탄시험 방법 또한 다양해지고 개선되고 있다.

우리 군의 신형 방탄헬멧은 국방규격 KDS 8470-4001에 따라 방탄시험을 수행하고 있다. 이 국방규격에서 제시하는 방호성능은 파편모의탄(FSP : Fragment Simulating Penetrator)을 방호하기 위한 용도로써, 이 방호성능은 미국에서 1986년에 제정된 MIL-H-44099A 규격을 준용한 것이다. 이는 그간 발전된 헬멧의 성능에 비해 시험방법에 대한 개선 노력 및 관련연구가 부족한 실정을 반증하는 결과라 할 수 있다(구승환, 송승환, 박중화, 2018). 무기체계의 살상능력이 향상된 만큼 전력지원체계인 방탄헬멧의 방호수준도 향상되어야 하며, 관련된 시험 방법에 관한 연구도 중요하다. 하지만 국내에서 수행된 방탄헬멧 관련 연구는 소재개발에 국한되어 있으며 방탄시험 방법 및 성능에 대한 관련연구는 극히 드문 실정이다. 이에 반해 해외에서 헬멧의 방탄시험 방법에 대한 연구는 꾸준히 진행되었다.

National Research Council et. al.(2014)은 ACH 헬멧 시험방법에 대해 연구하였는데, 이들은 기존의 헬멧 시험방법인 파편탄을 사용한 V₅₀ 산출(방호물자의 관통확률이 50%가 되는 임계치를 산출하는 시험) 및 방호한계 시험(관통여부를 확인하는 시험) 이외에도 9mm 권총탄을 사용한 후면변형 시험방법(P-BFS : Perforation and Back Face Signature Test, 관통이 되지 않아야 함은 물론 장파열 등의 장기 손상을 방지하기 위해 후면 변형까지 측정하는 시험)을 추가로 제안하였다. 또한 헬멧의 5부위(전/좌/우/후/정수리)에 대한 사격위치를 명확화하고 RCC(Right Circular Cylinders, 파편을 형상화 한 것)를 사용한 시험 방법을 제시하였다. Rodríguez-Millán, M. et. al.(2014)은 전투용 헬멧이 충격 저항성을 만족하는 아라미드 소재의 합리적인 무게를 산출하기 위해 FSP 및 FMJ(Full-Metal Jacket, 구리합금의 보통탄)를 사용하여 충격시험을 수행하여 유한 요소 모델을 제시하였다. Li, Y. Q., Li, X. G., Gao, X. L.(2015)는 헬멧을 착용했음에도 발생하는 외상 분석을 위해 헬멧의 후면 변형(BFD : Back Face Deformation)에 관하여 연구하였다. 이들은 미 육군 연구소에서 얻은 시험 데이터를 토대로 각각의 충격 위치와 방향, 각도 변화에 따른 BFD 값에 차이가 존재하며, BFD 값은 정면, 크라운(정수리) 순으로 높게 발생한다고 하였다. 또한 동일한 충격이 발생할 경우 BFD는 크기가 작을수록 크게 나타난다고 하였다. Stone, R.(2013)은 미 운영시험 평가국(DOT&E : Director, Operational Test and Evaluation)이 발행한 방탄헬멧 시험방법의 적합성을 확인하였다. 그는 초도품 생산시험(FAT : First Article Testing)에 초점을 두었으며, 일반적인 90% 신뢰도 수준과 4% 허용 품질 수준(AQL: Acceptance Quality Limit)에서의 로트수락시험(LAT : Lot Acceptance Testing)과 관통저항(RTP : Resistance To Penetration) 요건에 대해 연구하였다.

이처럼 해외에서는 PASGT 헬멧을 개선한 ACH 헬멧을 개발하기 위해 다양한 위협과 외상 등을 분석하여 요구 성능을 제시하고 이를 시험하기 위한 방법을 연구하였다. 이제 우리나라도 방탄헬멧의 성능향상을 위한 시험방법의 개선에 관한 연구가 필요하다. 전술한 바와 같이 무기체계의 발전으로 위협이 다양화되었으나 현재 운용중인 방탄헬멧의 시험방법은 80년의 수준에 머무르고 있기 때문에 이에 대한 개선이 시급한 실정이다. 또한 현재의 국내 시험 방법으로는 확인할 수 없는 충격에 대한 두부 손상 방지 여부를 확인하기 위한 시험을 진행할 필요성이 있으며, 방탄 헬멧의 방호성능을 선진국 수준으로 향상(17 grain 파편탄을 670 m/s 이상의 속도에서 방호)시키고 다양한 탄(RCC 등)에 대한 시험 진행을 검토해볼 필요가 있다.

국방기술품질원은 2017년 방탄시험에 대한 한국인정기구(KOLAS : Korea Laboratory Accreditation Scheme)의 인정을 획득하여 방탄성능시험을 운영하고 있다. 본 연구는 그간 방탄헬멧의 방탄시험을 진행하는 과정에서 획득한 해외 방탄시험 규격과 요구조건을 검토하고 국내의 시험방법과 비교하여 방탄헬멧의 시험방법을 개선하기 위해 진행되었다. 따라서 본 연구에서는 해외에서 요구되는 방호성능을 바탕으로 국방규격과 비교하여 개선이 필요한 부분과 추가 제언을 서술하였다. 그간 우리나라는 미국의 MIL Standard(군사 표준)나 NIJ Standard(미 법무성 사법연구소 표준)에 대한 기초적인 이해와 전문가가 부족한 실정에서 일부 시험방법을 인용하여 적용해 왔기 때문에 시험 방법에 대한 심도 있는 고민이 부족한 실정이었다. 본 연구에서는 실제 방탄성능시험을 운영하면서 획득한 노하우를 바탕으로 국내 방탄헬멧 시험방법의 개선점을 제시하고 나아가 방탄헬멧의 군사요구도 작성에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 방탄시험의 개념과 기본적인 시험 방법에 대한 이론적 고찰을 수행하며, 제 3장에서는 국내 방탄헬멧의 시험방법 및 미국의 방탄헬멧 시험방법을 분석하고자 한다. 제 4장에서는 전장에서 부상실태를 분석하고 국내와 미국의 방탄헬멧 시험방법을 비교하여 국내 방탄헬멧의 방탄시험 개선방안을 제시한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 의의와 한계점 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 이론적 배경

2.1 방탄시험의 개념

방탄시험은 방호대상(방탄복, 방탄헬멧, 방탄유리 등)에 대해 각 규격의 등급에 제시되어 있는 위협 탄을 사격하여 방호대상이 어느 위협까지 방호하는지를 확인하는 시험이다. 이를 위해 방탄시험 규격에는 특정 등급에 대한 탄종과 탄속이 제시되며 일반적으로 3가지 시험 방법이 주로 사용된다. 먼저 관통여부를 측정하는 BL 시험(BL : Ballistic Limit, 제시된 탄속 범위에서 100% 방호해야 함)과, 다음으로 방호대상이 50%의 확률로 방호 가능한 속도를 산출하는 V_{50} 시험이 있다. 마지막으로 착탄 후 후면 변형을 측정하는 시험(P-BFS)이 있다. P-BFS 시험은 개인용 방호장구류(방탄복, 플레이트)에 대해 시험되는 항목으로 관통이 되지 않아야 함은 물론, 장파열 등의 장기 손상을 방지하기 위해 후면 변형까지 측정하는 시험이다.

방탄헬멧에 대한 방탄시험은 V_{50} 시험과 P-BFS 시험이 주로 이루어지고 있다. V_{50} 시험은 미 군사규격 'MIL-STD-662'와 유럽의 규격 'NATO STANAG 2920'에 명시되어 있다. 이에 대한 뜻을 살펴보면 "Velocity 50%"의 약자로 '방탄재가 관통될 확률이 50%인 속도', 즉 해당 방호 소재의 방호 임계 수준을 의미한다. 따라서 V_{50} 은 50%의 확률로 완전관통(CP : Complete Penetration)할 수 있는 충격속도를 의미하며, V_0 는 모든 탄자가 완전관

통이 일어나지 않을 최대 속도를 의미한다. 여기서 완전관통이란 사격 후 탄자 및 파편에 의해 방탄재 뒤에 설치한 확인판이 관통되어 빛이 통과하는 구멍이 발생하는 경우를 말하며, 부분관통(PP : Partial Penetration)은 완전관통이 아닌 모든 경우를 지칭한다(구승환, 노승민, 송승환, 2018). P-BFS 시험은 미 법무성 사법연구소(NIJ : National Institute of Justice)에서 발행한 NIJ Standard-0101(Ballistic Resistance of Body Armor) 규격에 명시된 시험으로 후면재(Oil Clay)를 사용하여 함몰 깊이를 측정한다. 이는 방탄재가 관통되지 않더라도 방탄재의 후면 변형(충격으로 인한 함몰 등)으로 인해 체내 장기 손상이 발생하지 않도록 하는 것까지 고려함으로써 안정성을 보다 중시하는 시험이라 할 수 있다.

2.2 방탄시험 방법

2.2.1 NIJ Standard

NIJ(National Institute of Justice)는 미 법무성 사법연구소로 방호물자에 대한 방호수준 및 시험방법 등의 기준을 정하고 있다. NIJ Standard는 각 번호별로 방호대상에 대한 항목이 구분되는데, 0101은 방탄복과 삽입되는 방탄판, 0106은 방탄헬멧, 0108은 방탄소재에 대한 규격이다. 이외에도 방검시험 등 다양한 규격이 존재하지만 본 연구에서는 개인용 방호장비에 대한 시험규격을 대표적으로 살펴보기로 한다. 일반적으로 NIJ Standard는 각 등급을 Level로 구분하며, 권총탄에 대한 방호수준을 IIIA 이하로, 소총탄에 대한 방호수준을 III 이상으로 구분하고 있다. 섬유소재로 이루어진 유연한(Flexible) 개인방호 장비는 소총 방호 등급이 없으며, 방탄복 내 삽입하는 방탄판의 소재는 대부분 세라믹 등 단단한 재료로 구성되어 있다.

Table 1. Compare of NIJ Standard

Type	Level	NIJ Standard 0106.01(Helmet)	NIJ Standard 0108.01(Material)	NIJ Standard 0101.06(Armor)	NIJ Standard 0101.06(Plate)
Hand gun	I	22 LR-38 (320 m/s)	22 LR-38 (320 m/s)	-	-
	IIA	9mm Ball (332 m/s)	9mm Ball (332 m/s)	9mm Ball (355 m/s)	-
	II	9mm Ball (358 m/s)	9mm Ball (358 m/s)	9mm Ball (379 m/s)	-
	IIIA	-	9mm Ball (426 m/s)	.44Mag JHP (436 m/s)	-
Rifle	III	-	7.62mm M80 (838 m/s)	-	7.62mm M80 (847 m/s)
	IV	-	Cal.30 AP (868 m/s)	-	Cal.30 AP (878 m/s)

2.2.2 MIL-STD-662

‘MIL-STD-XXX’는 Military Standards의 약자로 미국 국방성에 제정하여 사용하고 있는 군사관련 규격을 말하며, 통상 ‘MIL-STD-’ 또는 ‘MIL-SPEC’이라고 지칭한다. STD 뒤에 붙는 ‘XXX’는 전기·전자·통신기기 등 군사목적에 따라 번호로 구성되며, 개정될 경우 A부터 알파벳이 뒤에 붙게 된다. MIL-STD-662F는 소구경 탄에 대한 금속, 비금속, 복합소재 장갑의 방탄성능을 결정하는데 있어서 절차, 장비, 물리적 조건과 전문용어에 대한 일반적인 지침을 제공한다(MIL-STD-662F). 특히 방탄 한계속도(V_{50})를 계산하기 위한 방탄시험 절차가 설명되어 있다. NIJ Standard와 MIL-STD-662의 차이는 MIL-STD-662 규격이 V_{50} 을 계산하고 있는데 초점을 맞추고 있는 반면, NIJ Standard 0101.06 규격은 후면변형(P-BFS)에 대한 성능시험이 추가되어 있다는 것이다. 이는 방호물자의 후면 변형으로 인한 부상에 대한 것까지 고려한 것이라 할 수 있겠다.

2.2.3 STANAG 2920

STANAG은 ‘Standardization Agreement’의 약자로 NATO 협의회 구성원 간의 장비들에 대한 프로세스, 프로시저, 용어 및 조건 등을 기술하고 있다. 각 NATO 회원국은 STANAG을 비준하고 자국 내 군사 분야 적용하고 있으며, 회원국 간 군사용품을 다른 회원국에 저장, 지원이 가능하도록 표준화 하는데 목적이 있다. STANAG 2920의 규격명은 ‘Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing’으로 개인 방호 및 탄도 위협에 대한 전투의류의 보호 수준을 측정하기 위한 것을 목적으로 한다(STANAG 2920). MIL-STD-662와의 차이점은 CP(관통)와 PP(미관통) 사이의 발사 탄환 수 및 최고/최저 탄속의 범위이며, FSP의 규격이 보다 세분화하여 제시되어 있다.

2.2.4 기타 국가의 시험 방법

영국은 ‘HOSDB Body Armor Standards’를 사용하고 있으며 7개의 Level로 구성되어 있다. 사용되는 탄환은 9mm 보통탄과 .357 매그넘, 5.56mm 보통탄, 7.62mm 보통탄, 샷건 12gauge 탄으로 NIJ 규격과 유사하다. 독일의 경우 ‘VPAM BRV 2009’를 사용하고 있으며 14개의 Level로 구성되어 있다. 사용되는 화기는 .22 구경 ~ 14.5mm로 구성되어 있으며, 7.62x39mm, 7.62x54R 등의 적성국 탄환에 대한 방호성능까지 규정하고 있다. 러시아는 ‘GOST R 50744-95’를 사용하고 있으며, Makarov(9mm, 7.62mm) ~ Dragunov(7.62mm) 저격소총까지의 방호성능을 규정하고 있다. 본 규격에는 AK계열 탄에 대한 방호성능을 포함하고 있다. 중국은 ‘GA 141-2010’을 사용하고 있으며 총 6개의 Level로 구성되어 있다.

2.3 미국 방탄헬멧의 발전 동향

미국은 2차 대전까지 M1 철모를 사용하다가 이를 대체하기 위해 1975년부터 케블라 섬유(Aramid fiber)를 이용한 PASGT 헬멧을 개발하여 운영해왔다. 이후 PASGT 헬멧을 대체하기 위해 미 육군에서는 ACH 헬멧을 개발하여 운영하기 시작하였으며, 이후 LWH(Light Weight Helmet) 헬멧은 해군에서, MICH(Modular Integrated Communications Helmet) 헬멧은 특수목적군에서 운영 중에 있다. 최근에는 ECH 헬멧과 FAST 헬멧이 개발되어 일부부대에서 운영 중에 있다. 미국의 방탄헬멧 발전과정은 Table 2와 같다(Mortlock, 2017).

Table 2. Evolution of Combat Helmet for USA






Timeline	1943	1980	2005	2010	2012
	M1 Steel Pot	PASGT	ACH	FAST	ECH
Helmet Design					
Helmet Materials	Hadfield Steel Fabric	Aramid Fiber (Kevlar)	Improved Kevlar	UHMWPE	UHMWPE
Helmet Threat(s)	FSP	FSP	FSP 9mm ball RCC	FSP 9mm ball RCC	FSP 9mm ball Small arms

Table 2를 살펴보면 미군의 방탄헬멧 소재는 철(Steel)에서 강화 플라스틱(FRP : Fiber glass reinforced plastic)으로, 그리고 하이브리드(HYBRID) 순으로 재질이 변천하여 왔는데 이는 경량화와 방탄성능 향상을 위해 지속적으로 소재를 개발해 오고 있음을 단적으로 보여주는 사례라 할 수 있다. PASGT 헬멧, ACH 헬멧, LWH 헬멧 및 MICH 헬멧은 케블라 섬유를 사용하였으며, 최근에는 UHMWPE(Ultra high molecular weight polyethylene)과 Carbon fiber를 혼합한 하이브리드(HYBRID) 기법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 현재 운용중인 미국의 ACH 헬멧을 중심으로 살펴보고자 한다.

3. 한국과 미국의 방탄헬멧 시험방법

3.1 한국의 방탄헬멧 시험 방법

우리나라의 신형 방탄헬멧에 대한 방탄시험은 국방규격 ‘KDS 8470-4001’에 따라 수행되고 있다. 요구 방호 성능은 파편탄에 대한 V_{50} 이 609.6 m/s 이상이며, 상온(20 ℃)과 저온(-32 ℃)에서 각각 24시간 처리한 뒤 사격을 진행한다. 이는 전술한 바와 같이 미국의 MIL-H-44099A 규격을 준용하여 적용하고 있는 것이다. 사격 위치는 헬멧의 외부 표면을 1개의 중앙부(정수리 부분)와 4개의 측면(전면(0°), 좌측(90°), 후면(180°), 우측(270°))으로 구분하여 각 위치의 중앙지점에서 지름 100 mm인 원을 그려 그 내부에 사격한다. 이 때, 탄착점 간의 거리는 최소 4 cm 이상이 되어야 하며, V_{50} 은 MIL-STD-662F에 의하여 산출한다.

방탄헬멧의 방호성능을 측정함에 있어서 파편탄을 주로 사용하는 이유는 2차 대전과 한국전쟁 등의 사상자에 대한 원인을 분석한 결과 파편에 의한 사상율이 59%로 높았기 때문이며 문헌에 따라 차이가 있지만 치명 부상자의 75% ~ 80%, 일반 부상자의 85% 정도가 파편에 의한 부상으로 나타났기 때문이다. 또한 일반적으로 방호력이 향상됨에 따른 무게 가중이 발생하기 때문에 제한된 비용으로 적정 방호 및 전투력을 유지하기 위해서 파편에 의한 방호를 우선적으로 적용하는 것이다. 1.1g의 파편탄을 사용하는 이유는 각종포탄의 파편분석결과 1.1g 이하의 파편이

수류탄은 100%, 155mm 포탄에서는 50%, 135mm 포탄에서는 77%, 30mm 고폭탄은 약 80%로 파편이 발생되기 때문이다. 이 때 약 530 m/s ~ 620 m/s 이상의 파편 속도로 피격될 시 사상될 확률이 90% 이상으로 나타나기 때문에 이 속도를 방호기준으로 설정하고 있다.

3.2 미국 ACH 헬멧 방탄시험 방법

미국 ACH 방탄헬멧은 AR/PD 10-02 규격과 AR/PD 14-01 규격에 의거하여 시험한다. AR/PD 10-02 규격은 ACH, AR/PD 14-01 규격은 ACH II 세대를 의미하며 환경처리 조건은 상온과 고온, 저온, 염수 침수, 가속내후 및 가속노화 처리 6가지로 구분된다. 상온처리는 온도 (20 ± 5.5) °C, 습도 (50 ± 20) %에서 24시간 환경처리 하며, 고온처리는 온도 (71 ± 5.5) °C에서 24시간 처리, 저온처리는 온도 (-51 ± 5.5) °C에서 24시간 처리한다. 각각 환경처리를 실시한 헬멧은 환경처리 장비에서 불출한 후 30분 내 방탄시험을 실시한다. 염수 침수는 깊이 36 인치(약 0.91 m)이상의 염수(3% 염화나트륨, 0.5% 염화마그네슘 함유)로 구성된 욕조에서 최소 (3 ~ 4)시간 침수시킨 후, 수분을 닦고 2시간 내에 방탄시험을 실시한다.

가속내후 처리는 AATCC Method 169 규격에 따라 일광, 강우 및 고온 조건을 순환 사이클 형태로 총 48시간 처리 후에 방탄시험을 실시한다. 마지막으로 제품의 저장수명 확인을 위해 가속노화 처리 후 방탄성능 시험을 수행하며, 가속노화 처리는 ASTM D 1149-07 규격에 따라 고온(40°C), 하중(13.6kg) 부여 및 오존(부분압력 50 mPa) 환경에 72시간 동안 노출 시킨다. 환경처리가 완료된 헬멧은 Table 3에 따라 사격시험을 수행한다. Table 3은 각 탄종 및 시험방법에 대한 환경처리 방법 및 시료 수, 크기를 나타낸다. 예를 들어 첫 행은 2 grain RCC 탄을 사용하여 V₅₀ 시험을 수행하는데, 환경처리 하지 않은 헬멧은 소형 1개, 고온은 중형 1개, 저온은 대형 1개, 염수처리하는 특대형 1개를 시험한다.

Table 3. Helmet Test Matrix

Type of Test	Environmental Conditions					
	Ambient	Hot	Cold	Seawater	Weathero meter	Accelerated Aging
V ₅₀	2 grain RCC Size : S	1 V ₅₀ Size : M	1 V ₅₀ Size : L	1 V ₅₀ Size : XL	-	-
	4 grain RCC Size : XL	1 V ₅₀ Size : S	1 V ₅₀ Size : M	1 V ₅₀ Size : L	-	-
	16 grain RCC Size : L	1 V ₅₀ Size : XL	1 V ₅₀ Size : S	1 V ₅₀ Size : M	-	-
	17 grain FSP Size : M	1 V ₅₀ Size : L	1 V ₅₀ Size : XL	1 V ₅₀ Size : S	1 V ₅₀ Size : L	1 V ₅₀ Size : M
	64 grain RCC Size : L	1 V ₅₀ Size : XL	1 V ₅₀ Size : M	1 V ₅₀ Size : S	-	-
9mm Ball	60 shots 12 helmets Size : Each 4	60 shots 12 helmets Size : Each 4	60 shots 12 helmets Size : Each 4	60 shots 12 helmets Size : Each 4	-	-

방탄시험은 과편탄을 사용한 V₅₀ 시험과 9mm 보통탄을 사용한 후면변형 확인 시험으로 구분된다. 먼저 과편탄 시험의 사격위치는 헬멧에 표시한 5개 영역에서 각각 2발의 유효사격이 되어야 한다. 사격 위치는 헬멧 상부는 중앙을 중심으로 하는 직경 5인치의 원을 표시하며, 헬멧 하부(직경 5인치 원 아래부위)는 4개 영역으로 나누어 표시하여 사격한다. 유효사격 조건은 상부의 경우 2발 중 1발이 원의 테두리로부터 1인치(25.4 mm) 이내에 위치해야 하며, 전면과 후면은 셀 테두리에서 최소 1인치(25 mm) 간격과 홀의 테두리에서 최소 1.5 인치(38 mm) 이격하여 사격되어야 한다. 측면에는 귀 덮개에서 최소 0.375인치(10 mm) 이격하여 사격한다. Table 4는 각 탄착점을 나타낸다. 탄착점 간 거리는 1.5인치(38 mm)이상 이격되어야 하며, 헬멧에 표시한 조준점의 직경 0.5인치(13 mm)이내에 탄착이 이루어져야 한다. V₅₀은 범위 125 ft/s(38 m/s) 이하에서 6발의 유효사격으로 산출한다.

권총탄 시험은 9mm 보통탄으로 시험하며 후면변형은 전면과 후면은 25.4 mm, 좌측, 우측, 상단은 16 mm를 초과해서는 안된다(AR/PD 10-02, 2013). 헤드폼은 NIJ-Standard 0106.01에 명시된 것을 사용하되 각 사격 부위별 후면변형 측정이 가능해야한다. 5개 영역에 각각 1발을 사격하는데, 사격위치는 상부 중앙과 좌/우측면(귀 덮개 위로 부터 50 mm 지점), 전면(테두리로부터 (85 ± 5) mm 지점에 사격하되 야시경 장착부에서 최소 38 mm 이상 이격)과 후면(테두리로부터 (75 ± 5) mm 지점)에 사격한다. 사격 이전 레이저 스캐닝 장비로 후면재의 기준면을 측정하며, 사격 후 헬멧의 관통여부 확인 후 후면재의 최대 깊이를 측정하고 기록한다(AR/PD 14-01, 2016).

Table 4. Helmet Sections

Section	Plane figure	Side view
Top	5 inch diameter circle about crown benchmark	
Front	45° ~ 315°	
Right side	45° ~ 135°	
Back	135° ~ 225°	
Left side	225° ~ 315°	

4. 개선방안

4.1 전장에 따른 두부 손상 위험 요인

전장에서 발생하는 두부손상에는 다양한 원인이 존재한다. Wojcik et. al.(2010)은 아프가니스탄과 이라크에서 펼쳐진 OEF(Operation Enduring Freedom), OIF(Operations Iraqi Freedom) 작전과정에서 발생한 외상성 뇌손상(TBI : Traumatic Brain Injury) 환자를 분석한 결과 머리 부상이 신체 부위별 부상의 15% ~ 30%를 차지한다고 하였다. 주요 원인으로는 폭발(폭탄, 지뢰, 대포의 과편 포함)로 인한 부상이 가장 많았으며, 비전투적 원인에 의한 외상도 약 50% 수준으로 조사되었다. 이러한 부상의 원인은 크게 총탄과 과편, 둔상(Blunt Trauma)의 3가지로 분류할 수 있으며, 우리 군에 대한 위협을 분석한 결과는 다음과 같다. 우리 군이 총탄의 위협에 노출되는 경우는 전장에

국한할 수 있으며 그 대상은 잠재적인 주요 적대국이나 IS 같은 무장세력, 또는 반군 및 게릴라가 될 수 있다. 이들은 보통 토카레프(7.62×25mm), 마카로프(9×18mm)와 같은 자동권총과 AK-47(7.62×39mm)의 소총을 사용하고 있는 것으로 알려져 있다. 최근 5.45×39mm(AK-74) 및 중국의 5.56×45mm 소총도 위협의 대상으로 부각되고 있으며, 이러한 소총화기의 총구속도는 715 m/s에서 990 m/s까지 다양하다(Jones, Ness, 2012).

둘째, 화포, 지뢰, 박격포, 기타 폭발원 등으로 인한 파편에 대한 위협은 DMZ나 평화유지군에서 발생할 수 있다. 급조폭발물(IED : Improvised Explosive Device)을 포함한 파편을 유발시키는 무기들은 다량의 파편을 사용하여 부상을 입히는 동작원리를 가지고 있다. 파편은 각각 크기와 질량, 초기 속도가 다르기 때문에 피해범위와 위력이 상이하다. 따라서 각각의 속도 및 질량을 가진 파편들이 방탄시험에 포함되어야 한다. 그러나 주요 화포 및 파편의 위협에 대한 자료를 획득할 수 있는 범위가 제한되어 있기 때문에 이러한 자료는 선행연구를 통해 추론할 수밖에 없는 실정으로 일반적인 105mm와 155mm 곡사포탄의 질량 및 속도 데이터에 기초한 선행연구의 분석을 통해 위협을 유추해 볼 수 있다(ATEC, 1983; Dehn, 1980; Ramsey et al., 1978; AMC, 1964). 현재 헬멧에 사용하고 있는 위협은 파편탄에 대한 610 m/s 이상의 V_{50} 을 요구하는 것으로 155mm 고폭탄의 초기 파편 질량 및 속도를 반영한 것이다. 최근에는 IED와 같은 위협들이 추가됨에 따라 다양한 파편에 대한 시험이 필요하다.

셋째, 전장에서의 둔상 위협은 추락, 차량 충돌, 차량 내부와의 충격, 낙하산으로 인한 충격, 머리에 대한 둔탁한 충격 등을 모두 포함하는 것으로 어디에서나 발생할 수 있다. 또한 대부분의 폭발은 둔상을 수반할 가능성이 있다(Bass et al., 2012). Wojcik et al.(2010)의 연구 결과에 의하면 폭발과 관련된 머리 부상의 상당수는 차량 내부나 지면 등에 직접 또는 간접적으로 충돌하여 생긴 둔상이며, 이 중 80%가 헬멧을 착용하고 있었음에도 부상을 겪었다고 한다. Knapik et al.(2011)의 연구에서는 머리에 둔탁한 외상이 전체 부상의 30%를 차지한다고 보고하고 있다. 따라서 둔상에 대한 보호가 필요하다.

4.2 국내 방탄헬멧 방탄시험 개선 방안

본 절에서는 3장에서 살펴본 미국과 한국의 방탄시험방법 비교 및 4.1절의 두부손상 위협에 따른 방탄헬멧 시험방법 개선분야를 도출하였다. 도출된 개선 분야는 환경처리 및 방호수준이다.

Table 5. Comparing Test Methods between Korea and USA and Improvement Plan

Division	U.S.A	KOREA	Improvement Plan	Remarks
Conditioning	Hot (71°) 24h	-	Hot (71°) 24h	Improve
	Cold (-51°) 24h	Cold (-32°) 24h	Cold (-51°) 24h	Improve
	Seawater 16h	Water 16h	Seawater 16h	Improve
	Ambient (20°)	Ambient (20°)	Ambient (20°)	Current
	Weatherometer	-	Weatherometer	Improve
	Accelerated Aging	-	Accelerated Aging	Improve
V_{50}	FSP Cal. 22 (668 m/s ↑)	Cal. 22 (610 m/s ↑)	Cal. 22 (668 m/s ↑)	Improve
	RCC 2/4/16/64 grain	-	2/4/16/64 grain	Improve
P-BFS (9mm)	By each Conditioning 12 helmets 60 shot	-	By each Conditioning 2 helmets 10 shot	Improve
Blunt Impact	BFD Measurement	Check Appearance	BFD Measurement	Improve

4.2.1 환경처리 범위의 추가

소재의 물성 및 특성으로 인해 특수한 환경(예를 들면 고온·다습한 경우)에서 재질의 변형이 발생할 우려가 존재한다. 실제로 방탄헬멧을 착용하는 군인의 경우 국내뿐 만 아니라 사막, 북극, 정글 등 다양한 온/습도 환경에 노출될 수 있기 때문에 특수한 상황을 가정한 환경시험을 반영할 필요가 있다. 일반적으로 경량화를 위해 많이 사용되는 방탄재인 초고분자량폴리에틸렌(UHMWPE)은 산성과 흡습 등에는 강하지만 열과 충격에 장시간 노출될 경우 강도 저하에 따른 방호성능의 저하가 발생 할 수 있다. 따라서 이러한 환경을 반영한 환경 처리에 대한 시험 방법이 추가될 필요가 있다. 현재 시험 규격에서 수행하는 환경처리는 전술한 바와 같이 저온(-32 ℃)에서 24시간 처리하는 것이 전부이다. 미국 방탄헬멧의 방호기준에 환경에 따른 환경처리 요건을 반영하여 고온(71.1 ℃)과 저온(-51.1 ℃), 염수 처리 각각의 환경처리 후에 방탄시험을 실시하도록 반영할 필요가 있으며, 그 외에 MIL-STD-810을 살펴보고 다양한 환경처리 조건을 고려할 필요가 있다.

4.2.2 방호수준의 추가에 있어서 추가 탄종의 고려

방탄헬멧을 착용하는 가장 큰 목적은 파편이나 발사체 등으로부터의 두부 손상을 방호하기 위한 것이다. 현재의 방호 기준은 파편에 대한 방호능력을 우선으로 하고 있기 때문에 소총탄에 대한 방호는 불가능하다. 그 이유는 방탄헬멧에 소재의 적층 수를 급격히 증가시킬 경우 방호력은 향상되겠지만 무게 또한 상승하기 때문에 운용과정에서 애로사항이 발생할 것이며, 고가의 소재를 사용할 경우 경량화는 가능하겠지만 단가가 상승하여 보급률이 저하될 것이기 때문이다. 그렇다면 Cal.22 FSP를 사용한 방탄시험 결과 V_{50} 값이 약 660 m/s로 나타났을 때, 소총탄에 대해서는 어느 수준의 방호 수준을 보일 것인지 살펴볼 필요가 있다. 물론 소재의 특성 및 형상에 따라 결과 값이 다르겠지만 5.56mm 신형보통탄 K100을 사용하여 V_{50} 값을 산출한 결과는 약 000 m/s로 나타났다. 이는 소총탄으로 인한 피격거리가 000 m 이내일 경우에는 관통당할 확률이 높음을 의미한다. 보안 상 정확한 수치를 명기하지는 못했지만, 이러한 문제를 해결하기 위해 위협수준을 어느 수준까지 설정해야 할 것인지에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

하지만 미국의 시험방법 및 관련 연구보고서에 따르면 9mm 권총탄의 위협에 대한 방호수준을 유지할 경우 생존률과 운용성의 적절한 조화가 가능하다고 보고되고 있기 때문에 우리 군에서도 최소한 이를 준용하여 방호수준을 설정할 필요가 있다. 실제로 현재 보급되고 있는 방탄헬멧에 9mm 권총탄을 사용하여 사격시험을 진행한 결과 방호하는 것을 확인하였기 때문에 이러한 권총탄 위협을 국방규격에 추가하는 것이 제작사들에게 있어서 무리한 요구조건은 아닌 것으로 판단된다.

4.2.3 충격에 의한 방호수준 고도화 필요

현재 보급되고 있는 신형 방탄헬멧의 충격저항 시험은 3.6 kg 강구를 1.5 m 높이에서 자유낙하 시킨 뒤 헬멧 부속품의 파손과 낙하 후 헬멧 셸 충격부의 돌출만을 관찰하고, 실제 헬멧 착용자에게 가해지는 충격량에 대한 고려는 미흡한 실정이다. 3장에서 살펴본 바와 같이 전장에서서의 둔상은 어디에서나 발생할 수 있으며, 다양한 폭발로 인하여 둔상이 발생할 가능성이 크다고 보고되고 있다(Bass et. al., 2012). Wojcik et. al.(2010)과 Knapik et. al.(2011)의 연구에서도 두부의 둔상이 상당수의 비율을 차지한다고 보고하고 있다. 이는 탄자나 파편의 관통시험과는 다른 위협이며 이에 대한 충격시험을 수행해야 뇌진탕 등의 부상을 방지할 수 있다. 이는 충격방지용 패드, 부유시스템 및 목보호 패드 성능과 연관이 있다고 할 수 있다. 실제 미국의 H.P. White Lap에서 수행하는 방탄헬멧의 시험에서

는 이러한 충격 시험을 별도로 진행하고 있으며 전/후/좌/우 방향에 대해서 약 150 G의 충격을 가한 뒤 박리, 분리, 균열, 함몰 깊이를 측정하여 물리적 손상으로 인한 피해가 없음을 확인하고 있다. 또한 경량화를 위해 주로 사용되는 방탄재인 UHMWPE는 피탄에 대한 방탄성은 높으나 충격 및 후면변형에 취약한 단점이 있어 이에 대한 보완이 필요하다. 따라서 국내 방탄헬멧도 충격에 대한 방호수준 확인 및 시험방법을 적용할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구는 국내 방탄헬멧 시험방법의 개선점에 대해 연구하였다. 해외에서는 신규 헬멧을 개발함과 동시에 시험 규격에 대한 다양한 연구를 수행하고 있지만 우리나라는 방탄헬멧의 개발은 수행되고 있는 반면, 시험방법에 대한 연구는 과거의 상태를 유지하고 있는 실정이다. 또한 지금까지 국내에서 수행된 방탄헬멧 관련 연구는 소재개발에 국한되어 있으며 방탄시험 방법 및 성능에 대한 관련연구는 전무한 실정이었다. 이를 위해 기존의 시험 방법으로는 확인할 수 없는 충격에 대한 두부 손상 및 부상을 방지할 수 있는지 여부를 확인하기 위한 시험 및 방호성능을 선진국 수준으로 향상시키고 다양한 위협에 대한 시험 방법을 고려하였다.

본 연구를 위해 전장에서 두부 외상과 선진국의 방탄헬멧 발전 동향을 분석하였으며 분석된 내용은 다음과 같다. 첫째, 전장에서 두부손상을 입은 환자에 대한 원인을 고찰한 결과 머리 부상이 신체 부위별 부상의 15% ~ 30%를 차지하고 있었으며, 주요 원인으로서는 폭발(폭탄, 지뢰, 대포의 파편 포함)로 인한 부상이 가장 많았으며, 비전투적 원인에 의한 외상도 약 50% 수준이었다. 이러한 부상의 원인은 크게 총탄에 대한 위협과 화포, 지뢰, 박격포, 기타 폭발물 등으로 인한 파편에 대한 위협, 둔상(Blunt Trauma)에 대한 위협으로 분류되었다. 둘째, 선진국의 방탄헬멧 발전 동향을 분석한 결과 미국은 현재 ACH 헬멧, LWH 헬멧과 MICH 헬멧, ECH 헬멧과 FAST 헬멧을 운영하고 있다. 또한 소재는 케블라 섬유에서 UHMWPE(Ultra high molecular weight polyethylene)과 Carbon fiber를 혼합한 하이브리드(HYBRID) 소재를 사용하고 있다.

한국과 미국의 방탄헬멧 시험방법을 비교하여 개선점을 도출한 결과는 다음과 같다. 첫째, 환경처리 범위의 추가이다. 현재 우리나라 시험 규격에서 수행하는 환경처리는 전술한 바와 같이 저온(-32 ℃)에서 24시간 처리하는 것이 전부지만, 여기에 미국 방탄헬멧의 방호기준에 환경에 따른 환경처리 요건을 반영하여 고온(71.1 ℃)과 저온(-51.1 ℃), 염수 처리 각각의 환경처리 후에 방탄시험을 실시하도록 반영할 필요가 있다. 둘째, 방호수준의 추가에 있어서 추가 탄종의 고려이다. 미국의 시험방법 및 관련 연구보고서에 따르면 9mm 권총탄의 위협에 대한 방호수준을 유지할 경우 생존률과 운용성의 적절한 조화가 가능하다고 보고되고 있기 때문에 우리 군에서도 최소한 이를 준용하여 방호수준을 설정할 필요가 있다. 셋째, 충격에 의한 방호수준 추가이다. 전장에서 다양한 폭발로 인한 둔상 발생 확률은 매우 높은 반면 현재 우리나라의 방탄헬멧의 시험에 충격에 의한 방호수준 검증은 없는 실정으로 충격에 대한 방호수준 및 시험방법을 적용할 필요가 있다.

본 연구의 시사점 및 의의는 방탄소재에 대한 기술은 발전하고 있는 반면 이를 검증하기 위한 시험방법은 도태되고 있는 실정에서 시험방법의 개선방향을 제시하였다는 점이다. 본 연구 결과를 토대로 국내 방탄성능 시험 수준 향상 및 헬멧 등의 방호물자 군사요구도 작성에 도움이 되었으면 한다. 하지만 이러한 시사점에도 불구하고 향후 연구에서 보완해야 할 한계점을 가지고 있다. 바로 다양한 환경조건 및 시험기법을 적용한 수치적 분석이 부족했다는 것인데 향후 연구에서는 이러한 점을 고려하여 연구를 수행한다면 좀 더 의미 있는 결과가 나타나게 될 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Bass. C. R., Panzer. M. B., Rafaels. K. A., Wood. G., and Capehart. B. 2012. "Brain injuries from blast." *Annals of Biomedical Engineering* 40(1):185–202.
- Defense Agency for Technology and Quality. 2016. Request For Proposal "Enhanced Combat Helmet."
- Gu. S. H., Kim. K. M. 2018. "The Technical Supporting Report on User's Complaints for the Combat Helmet." Defense agency for technology and quality.
- Gu. S. H., Noh. S. M., and Song. S. H. 2018. "A Study on V_{50} Calculation in Bulletproof Test using Logistic Regression Model." *J Korean Soc Qual Manag* 46(3):453–464.
- Gu. S. H., Song. S. H., and Park. J. H. 2018. "A Study on the Improvement of Ballistic Test Method for Combat Helmet." *Korean Society for Quality Management Fall Conference*:19.
- Jones. R. D., Ness. L. S. 2012. "Jane's Infantry Weapons 2011–2012." Jane's Information Group, Englewood: Colo.
- KDS 8470–4001. 2016. Military Specification "Helmet, Ballistic, KH-B2000." Seoul: Defense Acquisition Program Administration.
- Knapik. J. J., Steelman. R., Hoedebecke. K., Grier. T., Graham. B., Klug. K., Rankin. S., Proctor. S., and Jones. B. H. 2011. "Military Airborne Training Injuries and Injury Risk Factors." Fort Bragg, North Carolina, June–December 2010. 12–HF–17G072–10. U.S. Army Public Health Command, Aberdeen, Md.
- Li. Y. Q., Li. X. G., and Gao. X. L. 2015. "Modeling of advanced combat helmet under ballistic impact." *Journal of Applied Mechanics* 82(11):1–9.
- MIL–H–44099. 1989. Military Specification "Helmet, Ground Troops and Parachutists (PASGT)." Washington, DC: Department of the Army.
- National Institute of Justice. 1981. "NIJ Standard for Ballistic Helmets." NIJ Standard–0101.06. U.S. Department of Justice, Office of Justice Programs, Washington, DC.
- National Research Council. 2014. "Review of Department of Defense test protocols for combat helmets." National Academies Press.
- Rodríguez–Millán. M., Ito. T., Loya. J. A., Olmedo. A., and Miguélez. M. H. 2016. "Development of numerical model for ballistic resistance evaluation of combat helmet and experimental validation." *Materials & Design* 110:391–403.
- Stone. R. 2013. "Advanced combat helmet technical assessment (No. DODIG–2013–079)." OFFICE OF THE INSPECTOR GENERAL (DEPARTMENT OF DEFENSE) ALEXANDRIA VA.
- U.S. Army. 2012. "Advanced Combat Helmet (ACH) Purchase Description." Rev A with Change 4. AR/PD 10–02. Soldier Equipment, Program Executive Office—Soldier, Fort Belvoir, Va.
- US Department of Defense. 1997. DoD Test Method Standard " V_{50} Ballistic Test for Armor." MIL–STD–662F.
- Wojcik. B. E., Stein. C. R., Bagg. K., Humphrey. R. J., and Orosco. J. 2010. "Traumatic brain injury hospitalizations of US army soldiers deployed to Afghanistan and Iraq." *American journal of preventive medicine* 38(1):108–116.