

特輯

개인방호용 복합재료의 기술동향

국방과학연구소
육종일*, 윤병일, 백종규, 송흥섭

요약

본 논문은 최적의 방호력과 편의성, 착용감을 갖춘 지뢰 탐지 및 지뢰 제거용 방호복의 국내 기술현황을 분석, 정리한 내용이다. 경량방호 소재는 고강도 직물 및 부직포 소재의 적절한 적층 배열 구조로 구성되어 있어 전체적인 방호복의 중량과 두께를 줄임으로써 착용감을 향상시켜야 한다. 한편 방호복은 인체 부위별 치명상의 정도에 따라 방호성능을 보강하도록 구성함으로써 최대한의 방호성능을 갖추면서 활동성 및 착용감을 향상시켜야 한다. 특히 디자인에 있어서 탈착 및 부착이 용이하고, 부상 시 환자를 움직이지 않고도 인체로부터 방호복을 분리해 낼 수 있도록 고안하여야 한다. 이와 함께 고강도/초경량 하이브리드 방탄 재료 기술 현황에 관하여서도 간략히 기술하였다.

ABSTRACT

This paper is for the state of the art of the lightweight protective clothing against the mine, and it covers the preliminary work focused on the appropriate protection, ballistics, convenience, and wearability. It is suggested that the lightweight protective clothing should be fabricated with the laminated materials of high strength woven and non-woven fabrics to reduce the weight and thickness, thus improving the wearability. And partial reinforcement of the protective clothing is necessary to prevent the mortal wound near the important parts of the body without disturbing the arbitrary activity. The composition of the protective clothing should be designed in consideration of easy putting-on and taking-off in addition to easy divesture, which require little motion of the body is in case of serious injury.

Additionally, status of the practical technique for high performance and ultra-light hybrid armor material were also described.

1. 서론

총알이나 파편, 폭발물에 대한 방호복의 착용집단을 크게 분류하면 경찰 및 군인으로 구분되며, 경찰은 주로 총알이나 도검류에 노출되는 반면에 군인은 총알, 파편, 폭발물에 노출되게 된다. 실제로 전투 시 군인들의 전형적인 부상을 분석한 결과에 따르면 총알에 의한 경우가 19%, 파편 및 폭발물에 의한 경우가 59%, 기타가 22%로 나타났다.

또한 고풍성의 지뢰는 은밀성 때문에 전쟁 중 전투병사 및 민간인을 구별하지 않고 무차별하게 살상효과를 발휘한다. 또한 미지의 장소에 은폐, 매설된 지뢰는 전투가 종료된 후에도 잔존하여 평화 시에도 무고한 생명을 살상하므로 심각한 문제를 초래하고 있다. 이처럼 세계의 여러 지역에서 미처 제거되

지 않은 대인지뢰 및 불발탄 등에 의한 민간인 피해가 증가하면서 매설된 대인지뢰를 제거하는 문제가 국제사회의 현안으로 대두되고 있다.

따라서 국제적인 정세와 북한의 부분적인 개혁 및 개방을 예측해 볼 때에 고풍성의 지뢰 탐지 및 방호복의 필요성을 인식하고 이에 대응하는 방호복은 수류탄과 같은 파편에 대한 방호복으로의 응용이 가능하므로 최대한의 방호력과 기능성 및 착용감을 갖춘 지뢰 탐지, 제거용 방호복의 국내 독자 개발이 절실히 요구된다.

최근 국내의 기술동향 및 발전추세를 분석해 보면 현재 선진국에서는 방탄력을 갖춘 방호복에 관한 개발이 활발히 진행되어 파편 및 일부 폭발 방호만 제공하던 것에서 이제는 폭발, 파편, 화염, 충격으로부터의 방호를 제공하고 있으며, 더 나아

가 냉각장치나 호흡 보호 시스템, 커뮤니케이션 시스템과의 호환성을 가지고 있다. 방호복이나 헬멧과 같은 최첨단 경량소재와 신기술을 이용한 보호 장비는 기술적인 진보로 방호복의 무게를 줄이면서 착용자로 하여금 유연성과 동작성을 향상시켜 임무수행과 안전성을 높이고 있다.

우리나라의 경우는 방호복에 있어서 일부 특전사용으로 수입하고 있는 것으로 알려져 있으나 전체장비를 갖추면 한 벌당 거의 천만 원에 달하기 때문에 그 수요가 매우 부족한 것으로 알려져 있으며, 그 외에는 방탄헬멧, 방탄조끼를 이용하고 있는 실정이다. 병사들의 고품성의 지뢰 탐지, 제거작업 시 착용하는 복장은 전투복에 방탄헬멧, 방탄조끼와 지뢰 덧신을 착용하는데 이는 지뢰 탐지용 방호복의 대체복으로서, 팔과 다리에 대한 방호능력이 없기 때문에 지뢰에 노출되었을 경우 치명적인 부상은 피할 수 없는 것이 현실이다. 지뢰 덧신 또한 기능저하로 방호성능에도 문제가 있는 것으로 알려지고 있다. 지뢰 덧신을 신었을 경우 절단은 피할 수 있어도 골절부상을 입는 경우가 있기 때문이다. Fig. 1은 병사들이 지뢰 탐지 및 제거작업을 할 때 착용하는 복장의 모습을 보여주고 있다.

한국군의 지뢰 및 폭발물 방호복에 있어서 선진국 수준에 비하면 그 기술이 우리나라의 경우 매우 뒤떨어져 있는 형편이다. 군 관련 복장 및 장구류를 제조하는 업체들이 대부분 소규모로 운영되고 있으며, 복장 및 장구류에 대한 수요량이 제한적이기 때문에 이에 대한 적극적인 투자와 전문업체 육성이 이루어지지 않고 있으며, 특히 기초소재인 방탄재료 개발에 지속적인 노력이 필요하며, 지뢰방호복의 경우 국내 독자 개발보다는 외국의 제품을 수입하거나 모방하는 수준에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

따라서 총알, 파편 및 고품성 지뢰에 대한 방호성능을 갖는 방호복 개발을 위하여 방호성능이 우수한 경량소재 및 재료구성에 기능성 설계요소를 주어 활동성 및 쾌적성을 향상시켜야 한다. 선진국에서는 이를 위하여 구체적 기술적 개발 방안 즉 기존의 방탄소재에 초경량의 펠트, 일방향 프리프레그 등을 부가하여 새로운 소재구성을 하고 있으며, 새로 구성된 소재의 물리적 특성과 NIJ-STD-SPEC에 의한 방호성능을 기본 기준으로 설정하고 있다. 방탄헬멧 및 방호복의 소재의 파편 모의탄 및 직격탄에 의한 방호한계속도(V_{50})를 구하는 기준 즉, 방탄시험기준을 Table 1에 나타내었다. 향후 기존의 방탄소재를 평가, 분석하여 우수한 방호성능 및 신뢰성 있는 방탄, 방호 소재를 지속적으로 독자개발 하여야 할 것이다.

본 논문은 이와 같은 기술적 배경을 바탕으로 개인방호용 복합재료의 기술현황을 조사한 내용이다. 지뢰탐지/제거용 방호복 부분에서는 지뢰의 종류, 기능, 파편이 인체에 미치는 영향과 지뢰탐지용 방호복 기술현황에 대하여 기술하였다. 그리고 개인 방호용 헬멧 및 방탄복 부분에서는 기술현황, 파괴메커니즘 및 방호력 시험평가에 대하여 간략히 기술하였다.



Fig. 1 병사들이 지뢰 탐지하는 모습.

Table 1 NIJ-STD-SPEC에 의한 방탄헬멧 및 방탄복의 방호기준

NIJ THREAT LEVEL	CALIBER	Bullet Mass (g/gr)	NIJ-STD. 0106.01 Velocities(± 50 ft/s)	NIJ-STD. 0101.04 Velocities(± 30 ft/s)
LEVEL I	22 LFRV Lead	2.6 / 40	1,050	1,050
	38 Special FN Lead	10.2 / 158	850	1,025
LEVEL IIA	5mm FMJ	8 / 124	1,090	1,120
	.357 Magnum JSP	10.2 / 158	1,250	-
	.40 Caliber FMJ	11.7 / 180	-	1,055
LEVEL II	5mm FMJ	8 / 124	1,175	1,205
	.357 Magnum JSP	10.2 / 158	1,365	1,430
LEVEL IIIA	5mm FMJ	8.0 / 124	-	1,430
	.44 Magnum JSP	15.55 / 240	-	1,430
LEVEL III	7.62mm NATO FMJ	9.7 / 150	-	2,780
LEVEL IV	30-06 AP	10.8 / 166	-	2,880

NIJ-STD. 0106.01 -Ballistic Helmets
 NIJ-STD. 0101.04 -Ballistic Resistance of Personal Body Armor

2. 지뢰 탐지/제거용 방호복

2.1 지뢰의 종류 및 기능

세계 각국에서 생산되는 고품성 지뢰는 700여종으로 다종 다양하며, 극히 간단한 구조로부터 정교한 것에 이르기까지 광범위한 종류가 있다.

지뢰의 재질면에서 볼 때 철제지뢰와 탐지하기 어려운 목재 및 플라스틱제 지뢰 등이 개발되어 있고, 극히 간단한 부비트 램으로부터 매우 정교한 감지장치를 갖춘 지뢰도 개발되어 있다. 지뢰는 적의 통로에 은밀하게 매설하여 적이 출현할 경우 원격조정 또는 접촉으로 인한 폭발로 생기는 폭풍효과 및 파편효과를 지니고 있다.

지뢰는 탄체, 폭발장약 및 신관으로 구성되어 있고 각종 용도에 따라 형태, 크기 및 재료가 다양하지만 실전에 사용되는 지뢰는 대인지뢰와 대전차지뢰로 구분한다. 대인지뢰는 다시 폭풍형 지뢰(blast mine)와 파편형 지뢰(fragmentation mine) 두 가지로 구분된다. 폭풍형 지뢰는 주로 화약 폭발효과에 의존하는 반면에 파편형 지뢰는 각종 공격형 수류탄과 유사한 효과를 갖고 있다. 적군이 접촉하면 즉시 기폭 되어 폭발하는 폭풍지뢰에 비해 파편지뢰는 지중매설, 지상 누설부설 또는 설치대 가설형의 파편지뢰와 작동되면 파편체를 1~2m지상높이로 튀어 오르게 추진시켜 살상반경을 더 넓게 하는 도약지뢰로 분류한다.

대부분의 폭풍형 대인지뢰는 일반적으로 매설하거나 지상에 납작한 상태로 방지하며, 대부분이 압력식 기폭장치를 갖고 있어 병사의 압력이나 차량의 압력에 작동하여 기폭 되도록

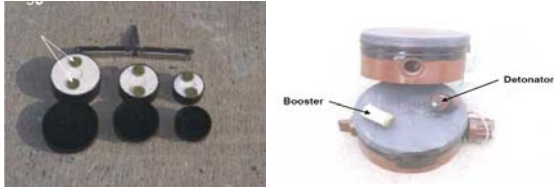


Fig. 2 전형적인 지뢰 장치.

제조 되었다. 또한 색인선(trip wire)이나 기타의 점화장치가 사용되어 왔다. 살상반경이 넓지 않고 국부적 효과를 갖고 있기 때문에 적에게 큰 장애물이 되도록 지뢰를 은밀하게 부설해야 한다. 이러한 이유 때문에 현대의 폭풍형 대인지뢰는 이러한 단점을 방지할 수 있는 폭약을 사용하고 있다. 한편 지뢰를 매설하기가 용이하고 관측 및 탐지가 곤란하다는 이점 뿐만 아니라 비폭약 구성품은 거의 전부가 목재나 플라스틱, 심지어는 마분지를 사용하고 있어 전자식 지뢰 탐침방법으로는 탐지가 곤란하다는 장점이 있다.

파편형 대인지뢰는 폭풍형 대인지뢰에 비해 살상효과가 광범위하므로 일반적으로 색인선을 사용하기에 적합한 점화장치가 사용되고 있다. 그러나 도약형 대인지뢰는 지하에 매설되고 병사가 통과한 후 도약하여 비산하도록 압력점화장치와 신관지연장치가 부착되어 있다. 참고로 Fig. 2에 전형적인 지뢰를 도시하였으며, 이외에도 고정식 방향성 파편지뢰도 있다.

대인지뢰에서 공통되는 기폭방법은 색인선이 연결된 색인식 또는 압력식 기폭장치이며 색인과 압력에 공히 작동되는 기폭장치도 있다. 그 외의 기폭장치는 침입자 작용식 또는 우군의 원격 조정식 전기 기폭장치와 진동식 기폭장치가 개발되어 있다.

우리나라에서 가장 많이 발견되는 것으로 알려져 있는 대인지뢰의 구조 및 기능을 살펴보면 먼저 M16A1 대인지뢰는 압력식 및 인력식 초발작용에 의해 폭발이 되며 주장약 및 파열체가 0.6~2.4m 높이의 공중으로 도약하여 파편체를 비산시킴으로 살상효과가 대단히 크다. 휴즈 작동 최소 압력은 $3.6\sim 9\text{kg/cm}^2$ 이고, 인력은 $1.35\sim 4.5\text{kg/cm}^2$ 로 폭발되었을 경우 살상반경은 약 27m이고 위험반경은 약 183m로 알려져 있다.

안전핀을 제거한 상태에서 압력뿔에 일정량 이상의 압력이 가해지거나 인력 고리에 가해지면 용수철에 의해 공기가 작동되어 신관과 뇌관이 폭발되고 이 폭발력에 의해 지뢰 안에 내장되어 있는 추진 장약이 터져 주장약 결합체를 공중으로 도약시켜 공중에서 다시 폭발하여 파편체를 비산시키도록 되어 있다. 1.617~0.064g의 파편이 대략 1,700여개가 형성되는 것으로 보고되었다.

한편 M14 대인지뢰는 아주 작은 크기의 폭풍형 비금속 대인지뢰로 접촉된 사람에게 상해를 입힐 목적으로 운용되며, 휴즈 작동 최소 작용압력은 $9\sim 15\text{kg/cm}^2$ 로 작동 되었을 때의 살상효과는 접촉 지점을 상해하는 것이다.

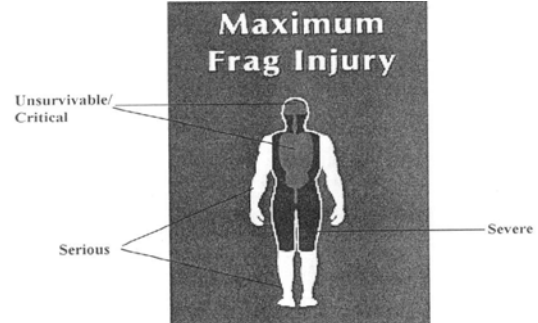


Fig. 3 비산 파편 침투에 의한 신체 치명상 예시.

M14 지뢰의 경우 몸체 내에 벨빌 스프링이 설치되어 있어 상부의 압력판에 일정한 압력이 가해지면 스프링이 작동, 스프링의 중앙에 부착되어 있는 공기가 기폭관을 때려 폭발시키고 이어서 주장약이 터지도록 되어 있다.

2.2 지뢰의 파편이 인체에 미치는 영향

비산 파편이 인체에 미치는 영향은 중압, 파편, 가속도 및 감속도로 구분된다. 지난 20여 년 동안에 발표된 폭발에 의한 파편 부상에 관한 보고를 보면 몇 가지는 부상을 야기하는 급조 폭발장치를 다루고 있으며, 나머지는 전장파 폭발무기 처리 환경을 다루고 있다.

신체부위에 대한 파편 부상을 부위별로 알아보면 머리와 목은 노출된 신체 부위의 약 12%에 해당하지만 폭발 희생자 중 치명상에 높은 비율을 차지하는 심각한 원인이 된다. 한 예로 북아일랜드의 폭발 현장에서 치명상 부상자의 66%가 머리와 목에 심한 부상을 입었다고 한다. 매우 민감한 부위 중 하나는 뇌와 뇌간이며, 또한 눈은 파편 부상에 특히 약하다. 눈의 관동 시발점은 피부보다 2배정도 많으며, 눈에 대한 대부분의 부상 시발점은 눈의 각막 열상, 시신경 타박상 또는 망막분리를 동반한 망막 찢김 등이다. 이러한 부상은 10g(1/3oz) 유리파편에 대해 15m/s(33.8mph) 정도의 낮은 속도에서 일어날 수 있다. 눈에 심각한 부상은 상당히 오랜 기간 영향을 가지며, 동등한 피부부상보다 더욱 낮은 속도에서 일어날 수 있다.

가슴과 복부에 파편 침투 및 충격은 심각한 결과를 가져올 수 있는데 가슴에서 민감한 부위는 심장, 주 혈관, 척수, 기관, 식도 및 폐이며, 복부주위에 민감한 부위는 척수, 주 혈관 및 위장관 이다. 북아일랜드의 폭발희생자들에게서 치명적인 부상의 분포를 보면 파편이 흉부와 복강에 침투한 상태로 사망하는 경우가 상당하다.

Fig. 3은 신체부위에 있어서 파편침투에 의해 받을 수 있는 치명적인 부상을 보여주고 있다. 생명을 위협하는 극심한 부상과, 즉각 생명을 위협하지는 않지만 부상들로 심각한 고통을 받을 수 있는 부위들이다. 이것은 어떤 신체부위가 파편침투에 대해 최대한의 보호를 요구하는지를 보여준다. 신체상의 검정 부분이 파편의 치명상 부위를 나타낸다.



Fig. 4 폭발물의 비산파편 모의실험.

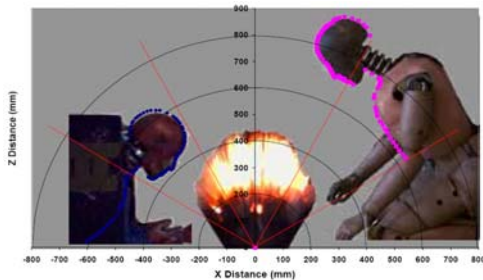


Fig. 5 폭발물의 비산파편 모의 기법.

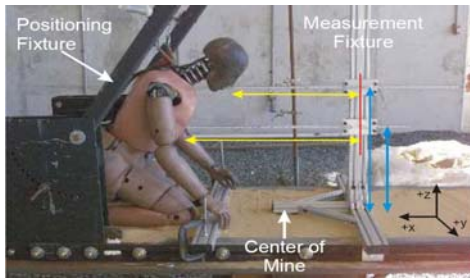


Fig. 6 폭발물의 비산 파편 모의 실험장치.

파편에 의한 부상은 파편 에너지(양과 충격 속도의 작용), 파편 모양, 밀도, 파열확률, 파편낙하, 신체조직의 특성 및 충격 위치에 따라 달라진다. 불규칙한 형태의 파편들은 다량의 충격 운동 에너지로 신체조직을 파괴하게 된다. 파편들은 폭발로부터 에너지 지화 되어 불규칙한 형태로, 1g의 파편에서 수 톤까지 될 수 있다. 비록 파편속도가 상대적으로 느리다 하더라도 그 범위와 부상 가능성은 상당히 클 수도 있다.

참고로 Fig. 4, 5, 6에 폭발물에 의한 고풍 모의실험 및 기법, 장치를 도시 하였다.

또한 파편속도 및 위력을 살펴보면, 군용무기는 파편속도가 2,500m/s 및 그 이상 속도도 가능한 반면 급조 폭발장치의 파편 속도는 일반적으로 느리다. 세계 여러 곳에서 급조 폭발장치를 만드는 파편의 일반형은 파이프 폭탄이다. 트라이나이트로 톨루엔(TNT)과 같은 고성능 폭약으로 장전된 32mm 외경의 강철 파이프TNT는 1,495m/s까지 파편속도를 발휘한다. 이러한 폭발

장치의 10g의 파편은 140m 떨어진 위치에 있는 비보호 사람에게 심각한 부상을 야기할 수 있다. 약한 폭약을 장전하더라도 그러한 폭발장치에서 오는 파편들은 1,100m/s 이상에 도달한다.

따라서 오늘날의 고풍성 지뢰 탐지/제거용 방호복은 최적의 중량과 활동성을 유지하면서 병사들에게 가능한 최고 수준의 기능성 보호 장구를 충족시켜 주어야 하며, 특히 치명상으로 고통 받을 수 있는 부위에는 최대한의 보호가 유지되어야 한다.

2.3 지뢰 탐지/제거용 방호복 기술현황

Explosive Ordnance Disposal(EOD) 탐색자들은 폭탄과 화약 등을 포함한 모든 형태의 폭발 화기를 다루고 있다. 2차 세계대전 초에 독일이 영국에 수 톤의 지뢰와 폭탄을 투하하여 많은 인명 피해가 있었으며, 이때 영국은 폭발하지 않은 화기를 찾아내어 처리하기 위해 서둘러 지뢰와 폭탄 제거반을 창설하였다. 영국의 이러한 경험 때문에 최초로 미합중국 해군 지뢰 제거 학교(U.S. naval mine disposal school)가 1941년에 워싱턴 DC 해군 무기공장(naval gun factory)에 설립되었고, 2차 세계대전 동안에 이 학교에서 훈련받은 지뢰 및 폭탄 제거 단원들은 기록할만한 업적을 남겼다. 또 2차 세계대전을 겪는 동안 미해군은 지뢰 제거단을 하나의 폭발물 처리(EOD) 프로그램으로 통합하여 발전시켜 왔다.

한편 이들이 착용하는 방호복에서도 상당한 진보를 보였다. 선진국에서의 이러한 방호복은 폭발과 탄도에의 보호를 목적으로 하고 있으며, 폭발할 경우 폭발, 중압(overpressure), 파쇄(fragmentation), 충격, 열, 화력, 섬광 등의 영향에 대하여 최대한의 방호기술을 구체화하고 있다. 폭발물의 폭발 중 신체부상의 주원인은 인체가 견고한 물체나 지면에 부딪치는 충격 외에 인체에 가해지는 중압파동 충격과 파편 충격이다.

현재 지뢰나 기타 폭발물의 폭발 시 100% 보호받을 수 있는 방호복은 아직 없으며, 단지 살상반경을 줄이거나 탐색자의 부상 정도를 낮추는 기능을 한다. 지뢰나 기타 파편 방호복으로 착용되는 복장은 크게 헬멧과 상하의, 방호화로 구분된다.

상하의와 헬멧 시스템은 착용자를 최대한 보호할 수 있도록 고안되어야 하고, 동시에 고도의 유연성과 편안함을 제공해야 한다. 헬멧의 경우 이전의 단순한 충격방호에서 이제는 150L/min의 신선한 공기 공급이 가능한 환기 장치, 지뢰 탐지기와 휴대용 무선통신을 접속 할 수 있는 통신장치를 갖춘 헬멧이 개발되고 있다. 헬멧은 polycarbonate(폴리카보네이트)판에 방염 처리된 Kevlar 직물 외피로 구성되고 있으며, 전면 보호경은 열성형 폴리 카보네이트로 구성되고 있다.

최근 상하의는 다중겹 Kevlar직물이나 폴리에틸렌 직물(Dyneema 또는 Spectra)을 hybrid한 소재로 제조되고 있으며, 최적의 방호능력을 제공하기 위하여 견고한 강철판이나 고기능의 강화 플라스틱, 폴리에틸렌 프리프레그 수 십 겹을 압축하여 열 성형시킨 복합적층 panel을 삽입하기도 한다.

이러한 방호복을 착용하였을 경우, 미착용시 폭탄 PMR-2A의 치사반경이 20m인 것을 2m로 축소할 수 있으며, M16A2의 경우 치사반경이 30m인 것을 10m로 축소 할 수 있다고 보고 하였다(Director Military Engineering NDHQ OTTAWA).



Fig. 7 지뢰 방호복, 방탄복 착용 예.

또한 방호복 내부에는 특히 더운 지역에서 지속적인 작업에 발생하는 체열을 제거기 위해 ice water를 이용한 cooling system을 갖춘 냉각 내이가 착용되기도 한다.

지뢰 방호화는 100~200g의 파편형 폭발물에서도 보호 가능하도록 설계되어 있다. 지뢰방호화의 종류를 보면, 전투화형은 가죽갑피 및 Kevlar 방탄소재 외피와 스텐 및 알루미늄의 별집형 경화구조의 바닥재로 구성되어 있다. 또한 군화 위에 신을 수 있도록 되어 있는 덧신형태의 방호화가 있는데, 덧신의 형태를 보면 지뢰를 밟았을 때의 폭발 압력을 낮추기 위해 지상에서부터 일정한 이격거리를 두고 설계되어 있는 pods형태의 덧신과 Kevlar 방탄소재의 외피와 스텐인리스 강 및 알루미늄의 별집형 경화구조의 바닥재로 이루어진 덧신형태의 방호화로 구분 될 수 있다.

한편 폭발 시 부상의 주원인은 신체에 가해지는 중압 파장 충격과 파편 충격 에너지, 단단한 표면에 부딪치는 신체의 충격이다. 이러한 지뢰 탐지용 방호복은 중압과 충격에 대한 방호를 고려하여야 하며, 파편에 대한 방호를 위해 M67과 같은 수류탄이나 대인지뢰(anti-personnel)를 이용한 분쇄시험을 하기도 한다. 또 이러한 복장의 탄도 시험평가는 NATO STANAG 2920 시험규격이나, 1.1g(17grain) NATO 파편 모의실험 장치를 이용하여 평가하고 있다.

이처럼 폭발물 및 지뢰 방호복들은 개인의 방호 시스템으로, 폭발 영향의 모든 범위 즉 폭발, 파편, 화염, 충격으로부터 방호를 향상시키고, cooling system이나 호흡 방호 시스템, 커뮤니케이션 시스템과의 호환성이 가능하도록 하며, 소재와 디자인의 혁신으로 더욱 가볍고, 착용자로 하여금 유연성과 동작성을 향상시켜 주어 임무수행과 안전성을 높여주도록 개발되고 있다.

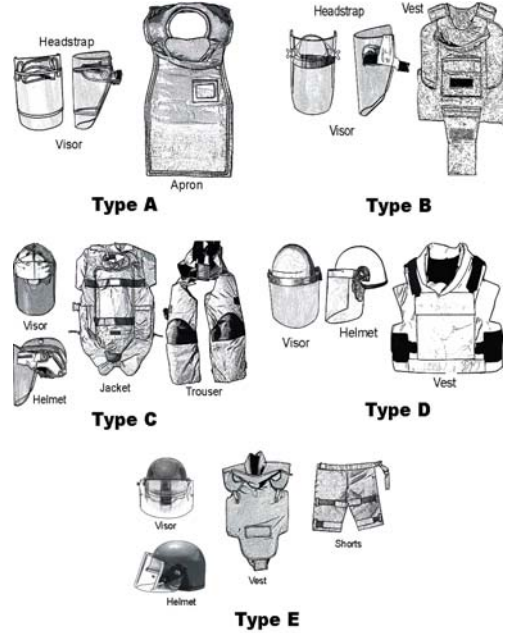


Fig. 8 타입별 방호복의 구성요소.

Fig. 7은 지뢰 방호복 및 방탄복의 예를, Fig. 8은 타입별 방호복의 구성요소를 보여주고 있다.

방어 병기로서의 대인지뢰는 적의 접근을 지연시켜 전격적 공격 가능성을 감소시키는 것이 주기능이며, 또 하나의 중요한 기능은 적군 병사에 대해서는 반응하지 않는 대전차지뢰에 함께 매설하여 적군의 대전차지뢰의 제거작업을 방해함으로써 적 기동병의 전투력을 광범위하게 봉쇄하는 것이다.

지뢰의 매설방법으로는 비상시에 손으로 매설하는 원시적 방법이 여전히 사용되고 있으며, 개방식 트럭으로부터 도관을 통해 지뢰를 내려 보내고 공병이 차량 뒤를 따라가며 정밀한 신관을 장착하기도 하지만 시간절약이라는 이유 때문에 기계화된 새로운 매설 장비를 사용하려는 경향이 있다. 현재 개발되어 있는 지뢰 매설기로는 기계적으로 지뢰를 매설할 구멍이나 고랑을 파고 지뢰를 적절한 간격으로 배치시킨 후 다시 덮어주는 방식의 전용 특수차량이 있다.

지뢰 매설 방법에 있어 획기적인 발전은 살포지뢰의 각종 살포방법이다. 이러한 살포지뢰는 적으로부터 멀리 떨어진 안전지대에서 포탄이나 로켓탄을 이용한 포 투하방식과 항공기 투하방식에 의해 적진지역에 광범위하게 살포할 수 있다.

한편, 대지뢰 장비는 지뢰에 의한 위협이나 손상을 막거나 감소시킬 수 있는 모든 장비를 말한다. 이것은 탐지장비와 처리장비로 크게 나눌 수 있다. 지뢰의 탐지방법에는 육안탐지, 침봉탐지, 전자탐지 등이다. 그리고 지뢰 제거방법도 수동식 제거, 기계식 제거, 폭발식 제거 등의 처리방법으로 나눌 수 있으며, 한 예로 Fig. 9에 지뢰 탐지 및 제거용 특수차량을 도시 하였다.

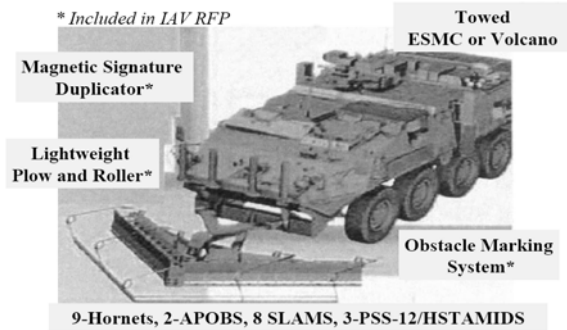


Fig. 9 지뢰 탐지, 제거용 특수차량.

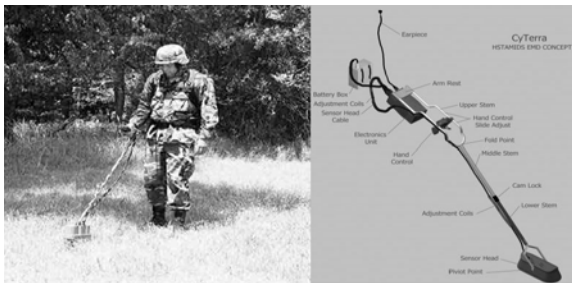


Fig. 10 휴대용 전자식 지뢰탐지기.

최근에는 전자식 지뢰탐지기가 개발되어 금속제로 된 대부분의 초기 지뢰를 용이하게 탐지할 수 있다. 파편형 대인지뢰도 대부분 금속제이므로 색인선과 기타 교묘하게 설치한 위협을 병사가 피할 수 있다면 전자식 지뢰탐지기로 용이하게 탐지할 수 있어서 각국은 전자식 탐지기의 개량에 노력하고 있다. 초기의 전자식 지뢰탐지기는 극히 조작이 불편하고 무거운 도구였으나 현대의 대표적인 탐지기의 중량은 필요한 성능에 따라 약 4~10kg의 범위로 감소되고 손잡이의 길이도 간편하게 단축시켜 개량한 휴대용이 사용되고 있으며, 참고로 Fig. 10에 휴대용 전자식 지뢰탐지기를 도시하였다.

또한 최근에는 원격조정기술이 지뢰탐지기술에도 도입되고 있으며, 원격탐지방식은 위험하리라 판단되는 지역의 신속한 탐지에 유용하고, 원격에서 탐지하므로 최소한 안전하다는 장점이 있다. 이처럼 지뢰 처리기술은 계속 발전되고 있는 실정이다.

3. 방탄 헬멧용 단종/하이브리드 복합재료

3.1 기술현황 및 발전추세

1960년대 미국 Goodbyer Aircraft Corp.에서 유리섬유 적층판재(Doron)에 알루미늄(Al_2O_3)판을 부착시킨 복합 장갑을 개발하였다. 이 세라믹(ceramic) 복합 장갑은 재래식 장갑보다 중량이

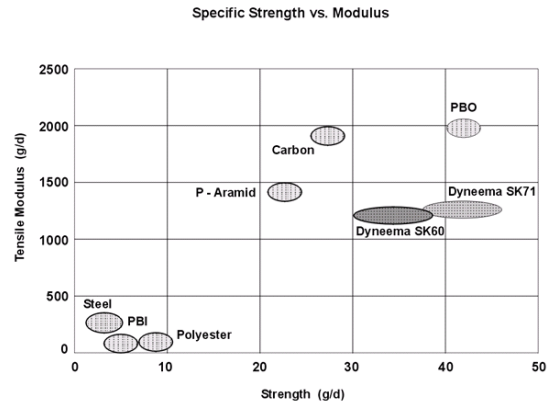


Fig. 11 방탄섬유 강화재의 기계적 특성.

절반으로 감소되었고, 방탄성능도 훨씬 우수하였다. 그 이후에 AMMRC (Army Material and Mechanics Research Center)에서 알루미늄판보다 더 방탄성능이 좋은 B4C와 SiC 등을 개발하였다.

한편 1970년대 미국의 Dupont사에서 para-aramid(파라-아라미드)계 섬유인 Kevlar(케블라)와 유리섬유인 S-2 glass가 개발되어 지금까지 사용되어 오던 나일론 방탄제품을 케블라 제품으로 대체 하였으며, 1980년대 중반 미국의 Allied Signal사에서 고 내충격 초경량섬유인 Spectra(스펙트라)가 개발되었다.

현재 강하고 유연한 방탄소재로 사용되는 대표적인 소재로는 아라미드계의 케블라와 트와론, 그리고 폴리에틸렌계의 스펙트라와 다이나마 등이다. 참고로 Fig. 11에 이들의 기계적 물성을 도시하였다.

고성능 합성섬유인 파라-아라미드 섬유의 특성을 보면 먼저 기계 및 역학적 특성은 고강도, 고탄성, 낮은 비중, 높은 에너지 흡수, 낮은 피로도를 가지고 있다. 또 화학적 특성은 화학약품에 대한 우수한 내성을 갖고 있으며, 열적 특성은 열에 대한 내성이 강하고, 낮은 열팽창, 낮은 열전도 등을 가지고 있다. 전기적 특성은 우수한 절연성을 갖고 있으며, 직물로서의 특성은 우수한 유연성과 마찰저항, 착용감 등을 들 수 있다. 한 예로 대표적 방탄소재인 케블라복합재의 방탄성능을 Fig. 12에 도시하였다.

특히, 최근의 고강도·초경량 하이브리드 방탄 신소재를 통한 가볍고 비강도 특성이 우수한 섬유강화 고분자 복합재료의 경량 복합재료 개발은 무기체계의 발전에 발맞추어 새로운 고성능 신소재를 응용한 우수한 방탄성능과 인체적합성, 편의성, 쾌적성 등을 총체적으로 고려하여 인명 보호와 활동성을 모두 확보하려는 차원에서 선진국에서는 상업화하는 수준에 이르고 있지만 국내에서는 현재 국방과학연구소 소재개발부가 주축이 되어 활발한 연구개발이 진행되었을 뿐 민간에서 이 기술에 대한 연구는 미미한 실정이다.

전통적인 방탄재료인 금속이나 세라믹은 방탄 성능대 무게의 비율이 높아 항공구조물이나 이동 병기에 응용하기에는

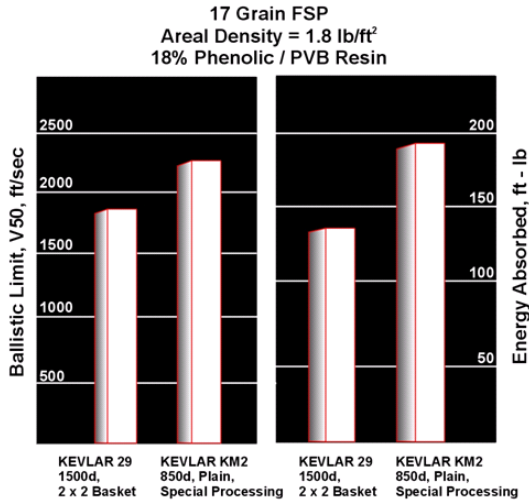


Fig. 12 케블라복합재의 방탄성능.

많은 제약이 있으며, 부식이 잘되고 마모성이 크므로 섬유강화 복합재료와 비교할 때 수명이 짧고 관리 및 유지에 어려움이 많다. 이에 미국 등의 기술 선진국에서는 고기능성 섬유강화 복합재료의 중화기에 대한 방탄재료로의 응용에 관한 많은 연구를 계속 진행하고 있으며, 민간 연구소 등에서도 경제성을 고려한 하이브리드 구조에 의한 방탄 복합재료 개발에 많은 투자를 하고 있다.

그러나, 국내에서는 방탄재료의 특수성으로 인해 민간 연구소에서의 연구개발은 거의 이루어 지지 않은 실정이며 이 분야에 대한 연구개발은 매우 시급한 상황이며 현 추세로는 이 분야에 대한 첨단 핵심기술들을 외국에서 수입하는 것은 극히 어렵기 때문에 국내 기술에 의한 자체 개발이 불가피한 실정이다.

섬유강화 복합재료에 대한 방탄 특성은 자세히 규명되지 않은 상태로서 어느 정도 실험적인 접근과 이론적인 접근만이 이루어지고 있는 실정이다.

예를 들면, 어떤 재료가 고속 탄자에 부딪혔을 때의 재료의 효율은 매우 높은 변형률(strain rate)에서의 에너지 흡수 능력과 에너지 흡수에 참여하는 재료의 양에 관련된다. 이 재료의 에너지 흡수능력은 인성(toughness)으로서 응력-변형 곡선의 면적으로 나타난다. 낮은 변형률에서는 연신(elongation)이 일어날 수 있지만, 탄속 정도의 변형률에서는 연신이 큰 역할을 못하고 파괴시의 변형도 작으므로 에너지 흡수는 재료의 강도에 의해 많이 좌우된다.

따라서 높은 비강도와 비탄성을 가진 재료가 바로 현재 방탄용으로 많이 사용되고 있는 유리섬유 및 아라미드(aramid), 폴리에틸렌 섬유 등이다.

1980년대부터 개발되기 시작한 새로운 기능성 섬유들은 기존의 섬유들에 비하여 강도, 탄성을, 그리고 고속충돌시 변형

Table 2 방탄용 섬유들의 물성

구분	Steel	Nylon66	Kevlar29	Spectra/PE	Spectra+Nylon
소재	Steel	Polyamide+Phenol	Aramid	PE+Vinylester	PE+Nylon+Vinylester
두께(mm)	1.2	5.5	5.5	5.5	5.5
Steel 중량(g)	1200	700	920	600	650
방탄성능(V50): Cal.22 FSP	900	900	1300	1200	1150
밀도(g/cm ³)	7.8	1.14	1.44	0.97	1.08
강도(GPa)	0.4	0.9	3.4	3.1	1.7
신장률(%)	26	20	3.3	3.5	-
용융점(°C)	1500	250	427	147	-
접착력(N/TEX)	-	0.8	2.3	3.2	1.5
가공성	●	●	×	▲	●

Table 3 방탄 헬멧, 방탄 전투복 기술 발전 추세



속도가 크지만 파단시 연신율(elongation)이 작기 때문에 방탄 헬멧, 방탄복과 같은 방탄 소재로 응용이 되고 있다.

최근 새롭게 개발된 섬유들은 기능성이 높은 반면, 가공성이 떨어지는 단점이 있기 때문에 대부분의 선진국에서는 개발된 섬유들에 대한 정보는 제공하지만, 다른 이종 재료와의 접합을 위한 표면특성 제어 기술과 같은 특수 핵심기술에 대해서는 정보의 유출을 엄격히 통제하고 있어서 이 기술들에 대한 국내 개발이 불가피한 실정이다.

따라서, 이러한 새로운 소재를 사용하여 고내충격성 소재 기술과 설계기술, 고압성형기술, 표면특성 제어 및 접합기술, 내구성 향상 기술, 특성평가 기술 등의 응용기술 개발로 현재 선진국에 기술적 추격을 탈피하고 고성능 첨단소재 부품의 새로운 제조 기법을 확보하여 기술적 우위를 확보하여야 한다.

또한, 제반 기술들을 접목시킨 복합기술의 개발을 통해 고성능 방탄 복합재 부품과 다 기능성 방호 소재의 개발을 앞당길 수 있고, 세계 수준의 독자적인 기술 개발로 새로운 개념의 고성능 방탄 소재에 대한 원천 핵심기술의 확보와 국내 관련 연구기반 확립 및 첨단 기술 경쟁력 증대를 위해서 고강도·조정량 하이브리드 방탄 신소재 개발이 시급한 실정이며 세계적 발전 추세이다.



Fig. 13 모듈형 방호복.

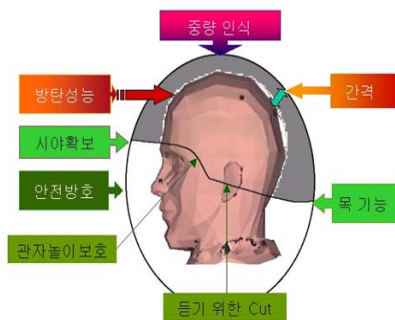


Fig. 14 하이브리드 방탄헬멧 설계요소.

참고로 Table 2에 방탄용 강화섬유의 물성 및 방탄성능을, Table 3에 방탄특성 및 기술발전 추세를 기술하였다. 또한 최근 미국 군경에서 방호복의 후면 변형(trauma)으로 인한 인체의 손상을 방지하기 위해 탈부착이 가능하도록 모듈타입의 plate를 적용시킨 모듈형 방호복을 시험개발 하였으며, 그 예를 Fig. 13에 도시하였고, Fig. 14에는 하이브리드 복합재료를 이용한 방탄헬멧 개발시 고려 할 설계요소를 참고로 도시하였다.

최근 국과연에서는 전단농화유체(STF:shear thickening fluid)의 유변학 특성을 이용한 신개념의 고충격 에너지흡수재 즉 나노 액체방탄재 개발 연구를 수행하고 있다.

이러한 연구의 배경에는 동작성과 유연성의 측면에서 신개념의 방호재료로서 기존의 hard body armor가 아닌 soft body armor의 일종으로 이른바 개인 액체방호재료(LBA, liquid body armor)에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이며 미 국방성을 중심으로 관련 기초 연구가 진행되고 있다. LBA의 대표적인 분야로 크게 세 가지로 구분할 수 있는데 전단농화 유체(shear thickening fluid, STF), 자기유변 유체(magneto rheological fluid, MRF), 전기유변 유체(electro rheological fluid, ERF) 등을 들 수 있으며, 이 물질들은 평상시 외부 자극이 없는 상태에서는 유체상으로 존재하여 충분한 활동성을 보장할 수 있을 만큼 유연성을 갖고 있으나, 전단력, 자기장, 전기장 등 외부에서 자극이 가해지면 강성이 순간적으로 변하여 견고해지는 특성이 있다. 이 현상은 외력이 제거되면 원상태로 완전히 회복하게 되는 가역적인 반응이다. ERF나 특히 MRF의 경우 우수한 물성을 보이는 반면 상시 자연 가동체계가 아닌 순간강화를 위한 별도의 외부

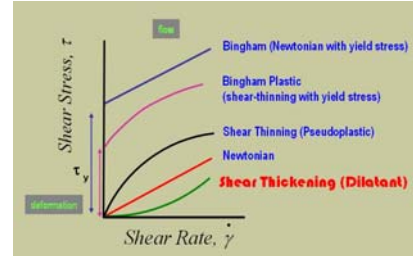


Fig. 15 유동 유형의 요약도.

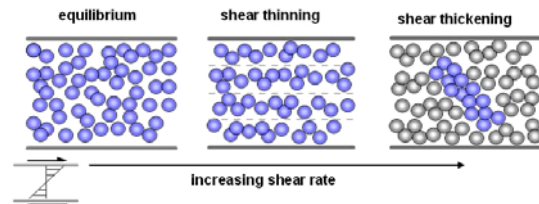


Fig. 16 단분산 강구체 분산계의 전단담화와 전단농화 과정에 대한 모식도.

자극 즉 자기장이나 전기장을 가해주는 부수적 장치라든가 위기 상황을 재빨리 감지해주는 센서 등의 주변장비가 수반되어야 한다는 점 등을 고려할 때, STF는 방호복 설계상 별도의 부수적인 장치 없이 충격 시의 전단력에 의한 순간강화 기구를 가지므로 간편하다는 장점이 부각될 수 있다.

미군의 21세기 개인전투체계와 관련하여 전단농화 유체(STF)를 개인 방호복에 응용하기 위한 연구는 미 육군연구소(ARL)와 델라웨어대학 Wagner교수의 연구팀들이 중심이 되어 기초연구를 진행하였으나 아직까지 구체적인 상품화에 대해서는 일부 방침복 시제품을 제외하고는 공식적으로 알려진 바가 없는 실정이다. 아직까지 STF의 성질 발현이나 정확한 메커니즘 규명이 부족하며, 기동성과 유연성을 보다 크게 증대시키면서 방호력을 증대시키는 연구가 국내에서 국과연을 중심으로 진행되고 있다.

최근까지 세계적으로 가장 많이 연구되고 있는 유변학 분야로는 고분자 유변학과 더불어 입자의 분산계를 들 수 있다. 현탁액(suspension) 또는 액체상의 입자 분산계는 연속상인 용매에 미세한 입자가 분산되어 있는 것으로, 페인트, 잉크, 종이 코팅제, 화장품, 전자산업 등에 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 유체는 그 특성에 따라 전단속도의 변화에 관계없이 일정한 점도를 보이는 뉴턴 유체(newtonian fluid)와 전단속도가 변할 때 점도도 함께 변하는 비뉴턴 유체(non-newtonian fluid)로 나뉜다.

Fig. 15는 유동 유형의 요약도를 설명한 것으로 대부분의 고분자 용융체나 용액은 전단속도 증가에 따라 점도가 감소하는 전단담화 (shear thinning) 현상이나 임계전단속도 이상에서 점도가 급격하게 증가하는 전단농화 현상을 일으키는 비뉴턴 유체이다. 이 중 STF라 불리는 전단농화 유체는 뉴턴 유체와 달리 전단속도가 변화할 때 점도가 변하는 비뉴턴 유체의 일종으로 전단응력이 증가함에 따라 유체의 점도가 급격히 증가하여 임계 전단속도 이상에서는 액상에서 고상으로 변화가 일어나는 유체를 말한다.

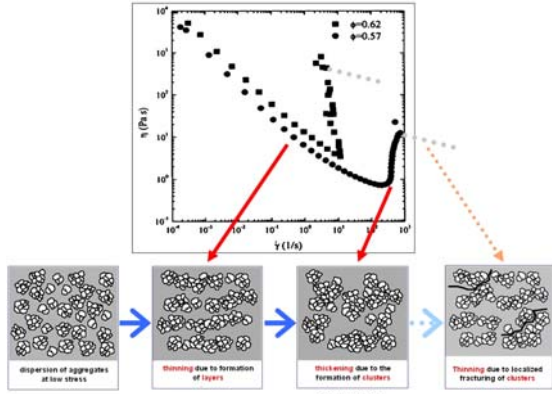


Fig. 17 응집체의 분산계의 전단담화-전단농화-전단담화에 대한 모식도.

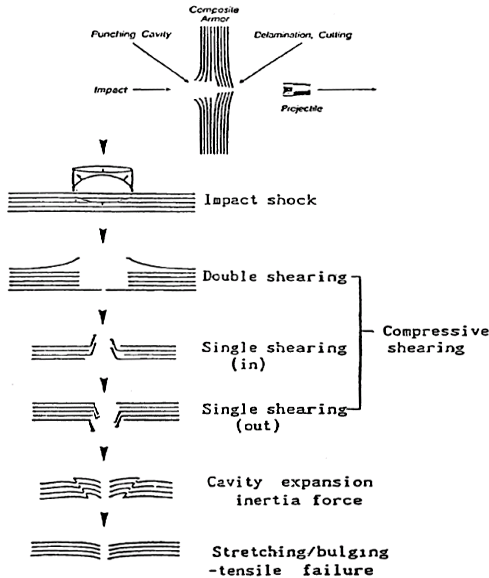


Fig. 18 관통진행 기구.

이러한 전단농화 현상은 ‘dilatancy’라고도 하는데, 이는 전단 흐름에 의해 입자들 사이의 간격이 증가한다고 믿었던 것에서 기인한다. 이러한 점도 증가현상은 흐름에 의해 아주 근접한 입자들로 구성된 밀집구조(cluster)의 형성에 기인하는 것으로 알려져 있으며 다음 그림에서는 전단속도가 증가함에 따라 초기에는 규칙적인 정렬 구조(ordered closed-packing phase)가 형성되어 전단담화가 일어나다가 어느 수준 이상의 전단속도에 이를 때 유체동력학적 힘(hydrodynamic force)에 의해 입자간 혹은 레이어간의 반발력을 극복해내고 층간의 상호작용이 증가하여 이러한 규칙적인 정렬구조가 파괴됨으로써 이로 인해 점도가 급격히 증가하는 것을 Fig. 16에 모식화하여 보여주고 있다.

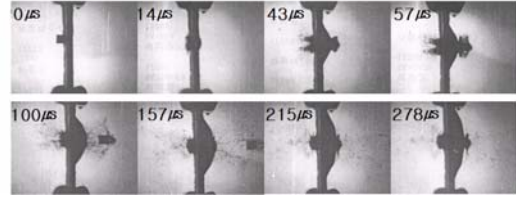


Fig. 19 스펙트라 복합재의 파편모의탄에 의한 관통현상.

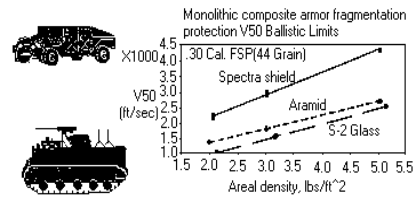


Fig. 20 면밀도별 V50(ballistic limit, 방호한계속도) 데이터 및 응용사례.

또한 Fig. 17에 전단담화-전단농화-전단담화에 대한 모식도로부터 단분산 강구가 아닌 aggregate 형태로 존재하는 입자를 사용하였을 때도 마찬가지로의 현상이 일어날 수 있음을 알 수 있으며 또한 전단농화 영역 이상의 범위에서는 또다시 전단담화 영역이 존재한다는 것을 보여준다.

이러한 전단농화 현상은 응력이 제거되면 원 상태로 돌아가는 가역적인 반응이며 이러한 변화는 수 밀리초(mili-seconds) 내에 순간적으로 일어난다. 전단농화 현상은 입자의 응집과 같은 분산액의 미세구조 변화가 일어나 유체의 유동성이 저하되고 코팅 품질이 떨어지는 등 품질과 운영 장비에 악영향을 주기도 한다. 전단농화 유체(shear thickening fluid, STF)는 일반적으로 EG(ethylene glycol)나 PEG(polyethylene glycol)와 같은 연속상인 용매에 수십나노에서 수백나노크기의 실리카(silica)와 같은 입자가 분산된 형태로 존재한다.

한편 고성능의 폴리에틸렌섬유도 아라미드계 섬유보다 인장강도와 강성이 우수하고, 뛰어난 전단강도를 지니고 있으며, 복합구조재료 및 직물형태에 대한 충격특성이 다른 섬유보다 월등히 우수하다. 내화학약품성을 갖고, 특히 방수성을 갖고 있어서 젖은 상태에서도 성능이 약화되지 않아 수중에서의 방탄복에 유리하며, 또 매우 가볍기 때문에 파라-아라미드 섬유와 hybrid(하이브리드)함으로써 방탄복의 무게를 줄이는데 효과적이다.

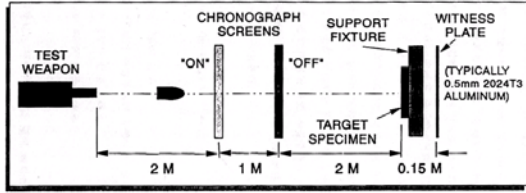


Fig. 21 방탄성능 시험평가 장치 구성도.

방탄소재가 갖는 이러한 특성은 고충격 분야에 중요한 인자이다. 즉 충격에 대한 저항은 전단신도의 감소는 피하면서 인장강도와 탄성률(modulus)의 증가로 현저하게 향상되었다. 에너지 흡수의 증가는 더 높은 변수의 미세한 스펙(마이크로)-필라멘트로 가능하게 되어 신체에 상당한 방호력 향상을 제공하게 되었다. 이러한 소재는 충격 방호재로 뿐만 아니라 레저용품이나 자동차, 산업 용으로도 응용되고 있다.

3.2 경량방탄 복합재료의 파괴메커니즘

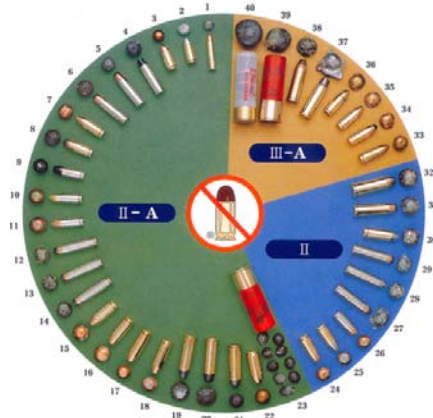
고 에너지 충격 방호와 관련된 섬유 특성은 다음 세 가지 즉, 인장 강도, 탄성률, 전단신도가 있다. 각각은 다른 방법으로 고충격 방호 메커니즘에 기여하게 된다. 첫째, 선택된 섬유(실, 직물)가 높은 인장강도를 갖는다면 전단이 어려워지며, 따라서 이것으로 제조된 방호복은 총탄이 관통하기 어렵게 된다. 만일 총탄이 지닌 에너지가 소재를 파열하는데 필요한 에너지에 미치지 못한다면 총탄은 멈추게 될 것이다. 둘째, 높은 전단신도를 갖는 섬유 및 직물은 끊어지기 전까지 신율이 높아 관통하기 어려울 것이다. 이는 총탄의 운동에너지가 열이나 위치에너지로 전환되어 멈출 때까지 신장을 계속 할 것이기 때문이다. 셋째, 높은 탄성률을 갖는 섬유라면 신장되기 어렵고, 따라서 직물을 신장시키는데 더 많은 에너지가 요구되어 더 많은 운동에너지가 끊어지기 전 단계에서 위치 에너지로 전환될 수 있다.

총탄이 소재에 고속으로 충돌하면 섬유 하나 하나를 끊게 되는데 이때 섬유 사이의 결합을 파괴하기 때문에 총탄의 운동에너지는 열에너지로 전환된다. 전단 저항이 더 클수록 이러한 결합력을 파괴할 때 요구되는 에너지는 많아지고, 그러므로 더 많은 운동에너지가 열에너지로 전환될 것이다. 여기서 총탄과 같은 고속 충돌체는 열로 인해 충격 위치에 인접한 섬유가 녹거나 타는 것을 실제로 관찰할 수도 있다.

이러한 메커니즘을 고려하여 Fig. 18에 고속 충돌 시 섬유의 파괴 메커니즘을 도시하였다. 한 예로 최근 개발된 스펙트라 복합재의 파편모의탄(FSP:fragment simulation projectile)에 의한 관통 현상을 Fig. 19에 도시하였으며, 이에 대한 면밀도별 V_{50} (ballistic limit, 방호한계속도) 데이터 및 응용사례를 Fig. 20에 제시하였다.

3.3 방호력 시험평가

파편 모의 시험탄 (FSP:fragment simulating projectile)은 개인용 장갑과 경항공기 및 전투차량 장갑의 파편저항성을 평가하거나



Level II-A

- 1 .22 Magnum 40gr. JHP(1209FPS/369MPS)
- 2 .32 ACP 60gr.Silvertip JHP(936FPS/285MPS)
- 3 .380 ACP 95gr. FMC(902FPS/275MPS)
- 4 .38 Special 125gr. Nyclad SWHP(1009FPS/308MPS)
- 5 .38 Special +P 110gr. JHP(1049FPS/320MPS)
- 6 .38 Special +P 140gr. JHP(869FPS/265MPS)
- 7 .9mm 124gr. FMC(1173FPS/358MPS) *
- 8 .9mm 125gr. JSP(1121FPS/342MPS)
- 9 .9mm 147gr. Black Talon(1010FPS/308MPS)
- 10 .9mm 147gr. Golden Saber(1083FPS/330MPS)
- 11 .9mm 147gr. Hydra Sock(1011FPS/308MPS) *
- 12 .357 Magnum 158gr. JSP(1308FPS/399MPS)
- 13 .357 Magnum 110gr. JHP(1292FPS/394MPS)
- 14 .357 Magnum 125gr.
- 15 .40Caliber 180gr. FMJTC(992FPS/302MPS)
- 16 .40Caliber 170gr. FMJTC(1095FPS/334MPS)
- 17 .10mm 155gr. FMJTC(1024FPS/312MPS)
- 18 .10mm 170gr. FMJTC(1137FPS/347MPS)
- 19 .41Magnum 210gr. LSWC(1141FPS/348MPS)
- 20 .41Magnum 240gr. LFP(1017FPS/310MPS)
- 21 .45 Long Colt 250gr. LRN(778FPS/237MPS)
- 22 .45 ACP 230gr. FMJ(826FPS/252MPS)
- 23 .12ga. 00 Buck (9 pellet)(1063FPS/324MPS)

Level II

- 24 .9mm 124g FMJ(1215FPS/370MPS) *
- 25 .9mm 115g Silvertip JHP(1252FPS/382MPS)
- 26 .9mm 124g Starfire JHP(1174FPS/358MPS)
- 27 .357 Magnum 158gr. JSP(1453FPS/443MPS) *
- 28 .357 Magnum 145gr. Silvertip JHP(1371FPS/418MPS)
- 29 .357 Magnum 125gr. JHP(1428FPS/435MPS)
- 30 .10mm 175gr. Silvertip JHP(1246FPS/380MPS)
- 31 .41 Magnum 210gr. JHP(1322FPS/403MPS)
- 32 .44 Magnum 240gr. SJHP1270FPS/438MPS)

Level III-A

- 33 .9mm 124g FMJ(1440FPS/439MPS) *
- 34 .9mm 115g FMJ Israel(1499FPS/457MPS)
- 35 .9mm 123g FMJ Geco(1372FPS/418MPS)
- 36 .9mm 124g FMJ Calbim(1259FPS/384MPS)
- 37 .44 Magnum 240gr. LSWC(1448FPS/441MPS) *
- 38 .44 Magnum 240gr. HSP(1320FPS/402MPS)
- 39 .12ga.1.oz Rifled Slug(1290FPS/393MPS) △
- 40 .12ga.1.oz Rifled Slug(1254FPS/382MPS) △

* NIJ certification round

△ when used in concert with the NFCAS sternum plate

Fig. 22 위협에 따른 탄자의 종류.

개인용 장갑의 수락시험에 사용되고 있다. FSP는 caliber 22 (5.56mm), caliber 30(7.62mm), caliber 50(12.7mm) 및 20mm 용으로 분류된다.

MIL-STD-662F 규격서에 의하면 방탄복의 탄도성능을 caliber 22(1.1g)의 파편 모의탄으로 모의 실험 장치를 사용하여 방호한계 속도(V_{50})로 등급화하고 있으며, 참고로 방탄시험에 사용되고 있는 장치의 구성도 및 각종 위협에 따른 탄자별 종류를 Fig. 21 및 Fig. 22에 도시하였다.

4. 결론 및 전망

이상과 같이 지뢰 제거복 또는 방탄복, 방탄 헬멧에 적용가능한 개인 방호용 복합 재료의 기술동향 분석 결과는 다음과 같다.

국내 여건에 비추어 볼 때 방탄 복합 재료 및 제조 연구는 미흡한 실정이나, 선진 각국에서 추진하는 미래 병사 프로그램 및 국내의 미래 병사 생존성 증대 연구를 목표로 하는 경우 경량 방탄 재료 연구의 노력이 시급하다는 것을 알 수 있었다.

경량 방호소재의 기본 구성은 고강도 직물 및 부직포, 일방향 프리프레그, 나노 액체 방탄재 등의 적절한 하이브리드 적층 배열로 방호복의 중량 및 두께를 줄이고, 기능 및 착용감을 향상시켜야 하며, 특히 방탄헬멧 및 방호복의 재료설계는 인체 부위별 치명상의 정도에 따라 방호성능을 보강하도록 구성함으로써 최대한의 방호성능을 갖추면서 활동성 및 착용감을 향상시켜야 한다. 또한 디자인에 있어서 착탈이 용이하고, 부상 시 환자를 움직이지 않고도 인체로부터 방호복을 분리해 낼 수 있도록 디자인 개발이 계속되어야 할 것이다.

향후 인체 공학적 설계요소를 고려한 고성능 방탄헬멧 및 방호복은 물론 손 보호구나 지뢰 덧신 등도 방호력 및 착용감, 편의성 성능 향상을 위한 지속적 연구개발이 필요하며, 경량의 다기능 복합방탄재의 경우에도 단종/이종 하이브리드 초경량/고강도 신소재를 이용한 재료설계 및 성형기법 개발이 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 육종일, 하현승, 이태상, 다공성/고강도 특수기능 경량소재 개발, ADD Report, TEDC-411-051087, 2005. 10.
- 2) 육종일, 김희재, 이승구, 한국재료학회지, Vol. 7, No. 9, 1997, pp. 795-804.
- 3) 윤병일, 육종일, 송홍섭, 하현승, 나노입자를 이용한 액체 개인방탄재료 개발, ADD Report, TEDC-411-070407, 2007. 4.
- 4) MIL-STD-662F. V_{50} Ballistic Test for Armor.
- 5) 육종일, 하현승, 강대석, “섬유강화 복합재료의 신제조 기법 및 고충격 파괴메커니즘 (II)”, 대한금속재료학회,

재료마당 제13권 6호, 2000. 10, pp. 40-52.

- 6) PTI Armor Systems, Background and Technical Overview Feb 24, 2004.
- 7) 육종일, “경량 방탄소재의 개발동향 및 발전추세 ”ADD 국방신기술 동향분석”, ADD, 2008년 2월(통권 제6호), pp. 85-102.