

방검복 특성 및 성능평가 기술

정기수, 김연상, 박준호, 홍지은 · 한국생산기술연구원

1. 서론

현대사회는 강력사건의 증가와 사회적 충돌로 인하여 여러 형태의 사고가 빈번히 일어나고 있다. 금강산 관광객 및 나이지리아 한국 근로자가 총격 피습으로 사망하였으며, 버지니아 공대 참사, 고시원 흉기난사까지 국내외에서 크고 작은 강력 사건과 사고가 계속 잇따르고 있다. 최근 생명보호에 대한 우려로 인하여, 군경 및 경호업체 직원들의 전유물로 여겨졌던 호신용 제품의 수요가 증가하는 추세이다. 호신용 제품으로는 방탄복과 방검복이 있다. 우리나라에서는 총기소유를 법적으로 금지하고 있기 때문에, 칼이나 송곳과 같은 날카로운 도구에 의한 상해가 더 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 방탄복보다는 방검복의 수요가 높은 실정이다.

방검복 소재는 일반적으로 아라미드와 고강도 폴리에틸렌 섬유, 유리섬유 등을 사용한 강화특수 섬유로부터 생산되고 있다. 현재 상업적으로 많은 방검제품들이 있으며 대표적으로 Dupont사의 Kevlar, Teijin사의 Twaron, Honeywell사의 Spectra Shield 등이 있다. 방검복의 종류는 방검이 가능한 부위별, 흉기위협 정도에 따른 등급별, 방검복의 무게에 따라 분류할 수 있다. 해외 선진회사에서 시판하고 있는 방검복의 종류는 Table 1과 같다.

방검장비에 관한 국제규격은 영국의 P.S.D.B(police scientific development branch), 미국의 NIJ(national institute of standard and technology), 유럽표준위원회(CEN) 등이 있으나 그 중에

Table 1. Type of stab resistant of personal body armor in overseas market

Part	Level	Weight	Remark
Front	N/A	ABT 0.8 kg	Stainless Steel
	N/A	ABT 0.95 kg	
Front/ Back	N/A	ABT 1.3 kg	방탄소재 외 중요부위 방검소재 추가
	II A	ABT 1.7 kg	
	II A	ABT 2.2 kg	
	II	ABT 2.0 kg	
	II	ABT 2.6 kg	
	III A	ABT 2.2 kg	
III A	ABT 2.8 kg		

서도 미국 법무성 산하의 국립사법연구소인 NIJ가 가장 공신력이 있다. 방검복은 나라별로 정한 규격에 따라 제작한다. 그러나 우리나라는 방검복 규격이 별도로 제정되지 않아서 미국의 NIJ 규격을 그대로 사용하고 있다. 따라서 본 고에서는 미국의 NIJ 규격에 대하여 소개하고, 한국생산기술연구원의 방검복 제작 현황과 앞으로의 방검복 산업의 발전방향에 대해서 모색해보고자 한다.

2. 방검복 성능평가 규격(NIJ Standard-0115.00)

2.1. 방검 등급

방검등급은 사용하는 흉기(나이프, 스파이크)에 따라 구분할 수 있으며, 흉기에 실려 가해지는 충격으로부터 신체를 보호할 수 있는 정도에 따라서 보호등급을 분류한다. '1등급'은 위험정도가 낮은 하위보호등급이며, 이는 성인남자가 85%의 힘으로 흉기를 찔렀을 때 방어할 수 있는 수준이다. '2등급'은 중위보호등급이며, 90%의 힘을 방어할 수 있다. '3등급'은 상위보호등급이며, 95%의 힘을 방어할 수 있다. NIJ 규격에서는 각 등급에 따른 힘을 에너지단위(J)로 나타내었다.

각 보호등급은 나이프나 스파이크가 관통하는 깊이에 따라 "E1"과 "E2"로 나뉘며, "E1"은 7 mm, "E2"는 20 mm까지 최대허용한다. Table 2는 각 등급에 따른 "E1"과 "E2"의 에너지(J)이다.

Table 2. Stab resistant protection level strike energies

Level	"E1" Strike Energy		"E2" Overtest Strike Energy	
	J	ft · lbf	J	ft · lbf
1	24±0.50	17.7±0.36	36±0.60	26.6±0.44
2	33±0.60	24.3±0.44	50±0.70	36.9±1.51
3	43±0.60	31.7±0.44	65±0.80	47.9±0.59

2.2. 방검성능 평가장치 구성

2.2.1. 입사각(angle of incidence)

수직으로 낙하하는 셔틀과 셔틀이 시료를 때리는 접점의 수직선과의 각도를 말한다(Figure 1). 실험은 0°와 45°로 진행된다.

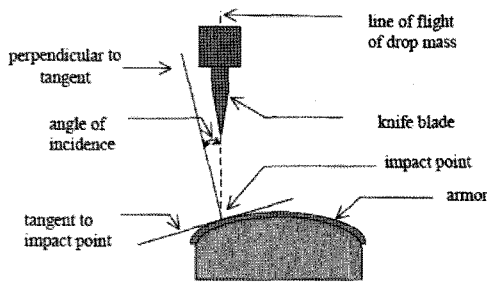


Figure 1. Schematic of knife arrangement.

2.2.2. 셔틀(drop mass)

셔틀은 자유낙하하여 방검판위에 충격을 가하도록 고안된 장치이다. 방검복 성능측정 시 나이프나 스파이크를 장착하는데, 네 부분으로 구성되어 있다.

- 나이프, 스파이크가 장착되는 부분
- 나이프, 스파이크를 지지하는 부분
- 스틸과 알루미늄 합금으로 구성(650 g±7 g).
- 나일론으로 구성된 몸체 부분(무게 1250 g±13 g, 지름 97 mm, 길이 300 mm).
- 셔틀이 낙하할 때 충격완화의 목적으로 (c) 안에 넣는 폴리에틸렌 폼(지름 50 mm, 두께 30 mm).

Figure 2는 셔틀의 단면도이다.

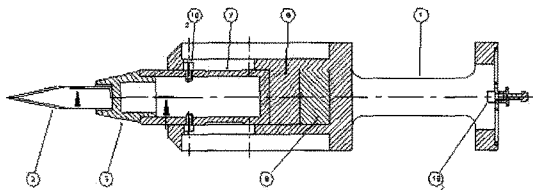


Figure 2. Drop mass.

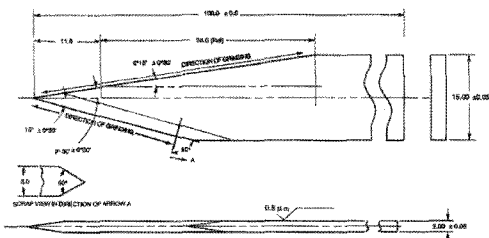


Figure 3. Knife blade P1.

2.2.3. 표준칼(engineered knife blades)

표준칼은 셔틀의 맨 앞부분에 장착하며 나이프와 스파이크가 있다. 나이프는 단날형태(P1)와 양날형태(S1)의 2 종류가 있다. Figure 3-5는 실험에서 요구되는 단날 나이프(S1), 양

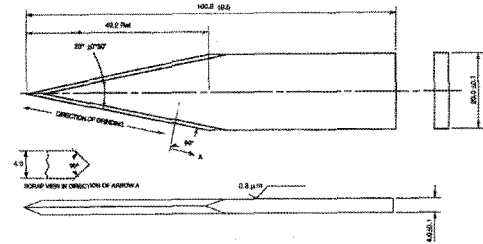


Figure 4. Knife blade S1.

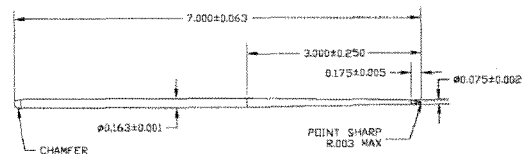


Figure 5. Spike.

날 나이프(P1), 그리고 스파이크의 사이즈 및 각도를 표시하였다.

실험에 사용되는 나이프와 스파이크는 청결하고, 날카롭게 다듬어져 있어야 한다. NIJ 규격에는 Rockwell C 척도를 제공하고 있다. 테스트로부터 파인깊이가 0.3 mm일 때 -50, 0.5 mm일 때 -150으로 지정하고 있으며, -50에서 -150에 범위의 나이프를 사용하도록 규정하고 있다. Table 3은 Rockwell C 스케일표이다.

2.2.4. 완충재(backing material)

자유낙하시킨 셔틀이 완충재를 관통한 깊이를 측정하여 소재의 방검성능을 평가한다. 실험환경의 온도는 21 °C±6 °C, 상대습도는 50%±20%로 맞추어야 하며, 완충재는 측정 전에 설정한 온습도로 조절되는 챔버에 12시간 보관하여야 한다.

완충재는 7개의 층으로 이루어졌으며 가장 위층에는 5.8 mm 두께의 네오프렌 스폰지 4개, 그 밑에 31 mm의 폴리에틸렌폼 1개, 가장 밑에는 6.4 mm의 고무 2개로 구성되어있다(Figure 6). 완충재의 구성요소는 Table 4의 조건표 및 레퍼런스에 따른다.

2.2.5. 낙하유도관(drop tube)

방검실험을 위해 셔틀의 이송통로로 사용되는 투명한 아크

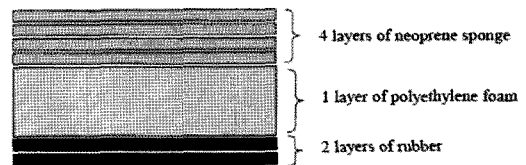


Figure 6. Composite backing materials.

Table 3. Conversion of HRC values

HRC	D(mm)	HRC	D(mm)	HRC	D(mm)	HRC	D(mm)	HRC	D(mm)
-160	0.52	-130	0.46	-100	0.40	-70	0.34	-40	0.28
-150	0.50	-120	0.44	-90	0.38	-60	0.32	-30	0.26
-140	0.48	-110	0.42	-80	0.36	-50	0.30	-20	0.24

Table 4. Backing material

Component Material	U.S. Specification	U. UK Reference	K. Specification Part Number
Neoprene Sponge	5.8 mm (0.23 in) thick, SCE45, Shore A20-30	6 mm thick, firm density	PSDB/BM/1/99
Polyethylene foam	closed cell, 31 mm (1.22 in) thick, LD45, Shore A14	expanded closed cell to density of 33 kg/m ³ , 30 mm (1.18 in) thick	PSDB/BM/2/99
Rubber	6.4 mm (0.25 in) thick, Shore A45-50	BS2494D, 6 mm thick	PSDB/BM/3/99

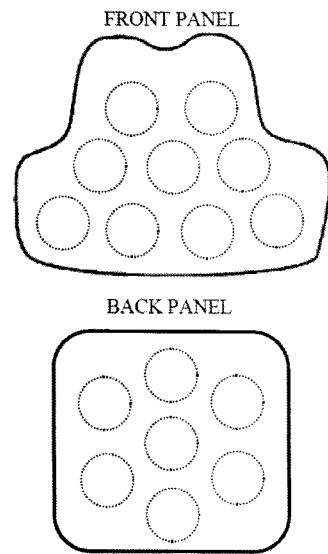


Figure 7. Template pattern.

이상 떨어진 곳이어야 하며, 이 지점이 없을 때는 새로운 네오프렌 스폰지로 바꿔야 한다.

릴관으로서 셔틀이 정확하게 목표지점에 떨어질 수 있도록 고안한 장치이다.

2.3. 방검성능 평가

2.3.1. 평가지점 표시

실험 전에 나이프로 관통할 지점을 시료 위에 표시한다. Figure 7은 방검시료의 앞판과 뒷판에 지점을 표시하였다. 결과에 영향을 줄 수 있으므로, 실험은 가운데를 중심으로 진행한다. 각 지점은 가장자리에서 51 mm

2.3.2. 시료 장착

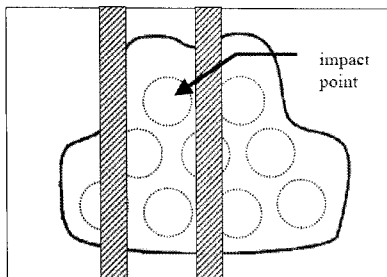


Figure 8. Acceptable strapping method.

완충재 위에 시료를 평평하게 놓은 후 벨크로(velcro)로 지지대에 묶는다. Figure 8은 벨크로로 방검시료를 장착한 모습이다.

2.3.3. 측정

Table 5. Drop test for each panel

Number of Drop Tests	Angle of Incidence	Threat Weapon	Energy Level
1	0°	P1	E1
1	0°	P1	E2
1	0°	S1	E1
1	0°	S1	E2
1	45°	P1	E1
1	45°	S1	E1
1	0°	Spike	E1
1	0°	Spike	E2
1	45°	Spike	E1

방검복의 성능평가는 완충재를 측정하고자 하는 방검시료 하부에 위치시킨 후에 표준칼(S1, P1, 스파이크)을 장착한 셔틀을 낙하시켜 표준칼이 관통한 두께를 측정한다.

실험자는 측정하고자 하는 표준칼(P1, S1, spike)와 보호등급(1등급, 2등급, 3등급) 및 입사각에 따라 Table 5로부터 에너지 등급(E1, E2)을 결정한다. 이후 Table 2로부터 타격에너지(J)를 확인한다. 등급에 따라서 타격에너지에 해당하는 위치로 셔틀을 이동시켜 방검성능을 측정한다.

3. 방검성능 평가장치 제작

한국생산기술연구원은 NIJ Standard - 0115.00을 기준으로 방검시험기를 제작하였다. Figure 9는 한국생산기술연구원에 설치되어 있는 시험기의 사진과 도면이다. 테스트할 시료는 시료지지대 위에 고정된 후 ①에서 ②의 위치로 이동한다(Figure 10). 나이프가 장착된 셔틀은 홀딩장치에 물려서 낙하유도관을 따라 타격에너지에 해당하는 위치로 상승하여 자유낙하를

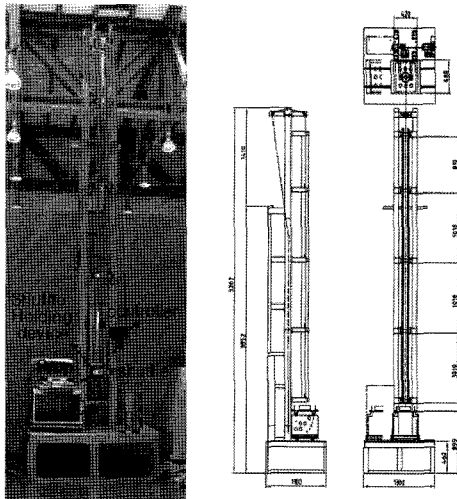


Figure 9. Stab resistant evaluate tester.

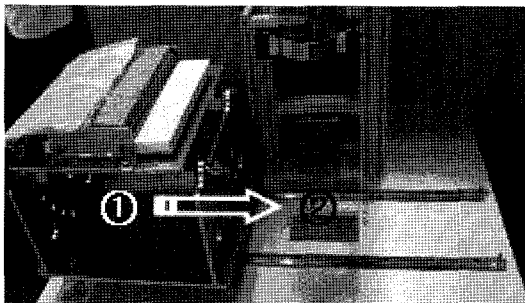


Figure 10. Sample holder.

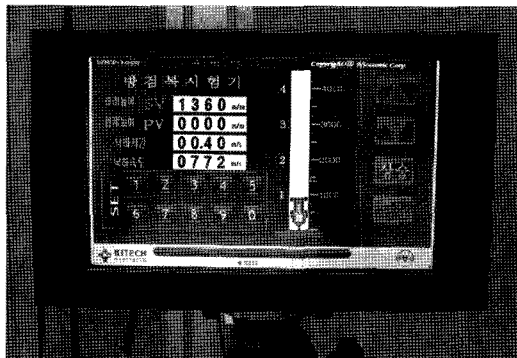


Figure 11. Controller.

한다. Figure 11은 높이를 설정하는 컨트롤러이다. 컨트롤러를 통해 현재의 높이 및 낙하시간, 낙하속도를 알 수 있다.

4. 방검복 시제품 제작 및 성능평가

방검복은 신체부위를 보호하기 위해 안전성이 우선적으로 요구되지만, 이에 더불어 쾌적성과 유연성을 동시에 갖추어

Table 6. Specimens of materials

	Sheath-staples	Core-filament
	Cotton roving	p-Aramid
Thickness	400	22.2(133 filaments)

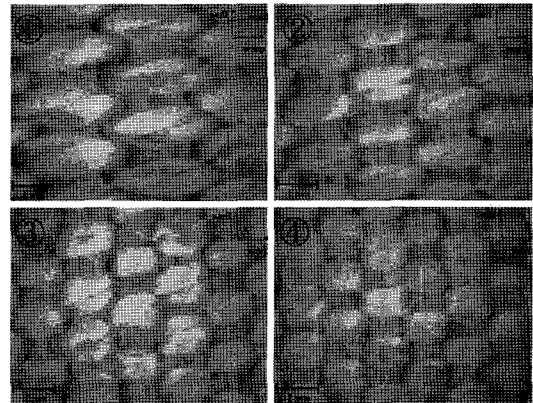


Figure 12. Core-spun yarn textile.

Table 7. Manufacturing condition

	Aramid core-spun yarn
Weight ratio (core filament : sheath-staples)	1:2.5
Twist (T.P.M.)	370
Mean tension of core filament during ring spinning process (cN)	15
Core spun yarn thickness (tex)	single : 77.7, two plied : 160.0

야 한다.

지금까지의 방검복은 무겁고, 유연성이 적어 착용하였을 때 활동이 불편하며, 외부로의 땀 배출 및 공기순환이 원활하지 않아 장시간 착용이 어려운 단점이 있었다. 따라서 한국생산기술연구원은 쾌적성과 유연성을 동시에 갖춘 방검소재를 개발하고, 방검성 시험기로부터 그 성능을 테스트하고 이로서 고기능성 방검복 소재에 응용하고자 하였다.

방검복의 재료로는 우수한 역학적 특성을 가진 p-Aramid filament를 중심사로 하고, 그 겉면을 땀 흡수와 통풍 및 감촉이 우수한 면 스테이플로 감싸 코어방적사를 만들었다. Table 6은 시료의 특성이며, Table 7의 조건하에서 생산되었다. 생산된 코어방적사를 이용하여 세폭직기를 통해 다양한 밀도의 아라미드 코어 방적사 직물을 생산하였다(Figure 12). Figure 12의 ①의 밀도는 4.2 picks/cm, ②는 6.3 picks/cm, ③은 8.4 picks/cm, ④는 9.7 picks/cm이다. 각각의 직물은 적층수를 늘려가며 침투깊이를 측정하였다. Table 8은 각 직물의 실험결과이며, Figure 13는 이를 도표화하였다.

결과에 따르면 각각의 위사밀도에서 직물들은 적층수가 증가함에 따라 침투깊이가 일차선형함수의 거동을 띄며 현저히

Table 8. Experimental result

위사밀도 : 4.2 picks/cm				위사밀도 : 6.3 picks/cm			
적층수	침투깊이(mm)	두께(mm)	무게(g)	적층수	침투깊이(mm)	두께(mm)	무게(g)
13	32.4	14.3	770	10	31.4	10.88	753.2
15	26.7	16.5	888	12	27.2	12.93	903.84
17	25	18.7	7007	14	20.6	15.36	1054.5
20	19.3	22	1185	13	25.6	14.14	979.16
22	13.2	24.2	1303	15	20.6	16.17	1129.8
17				17	13	18.44	1280.4
위사밀도 : 8.4 picks/cm				위사밀도 : 9.7 picks/cm			
적층수	침투깊이(mm)	두께(mm)	무게(g)	적층수	침투깊이(mm)	두께(mm)	무게(g)
10	32.3	13.7	870.8	10	31	13.7	904.4
11	30.6	15.07	957.88	11	26.6	15.07	994.84
12	26.4	16.44	1045	12	24.5	16.44	1085.3
13	24.5	17.81	1132	13	20.7	17.81	1175.7
14	19.4	19.18	1219.1	14	18.7	19.18	1266.2
15	13.8	20.55	1306.2	15	13.5	20.55	1356.6

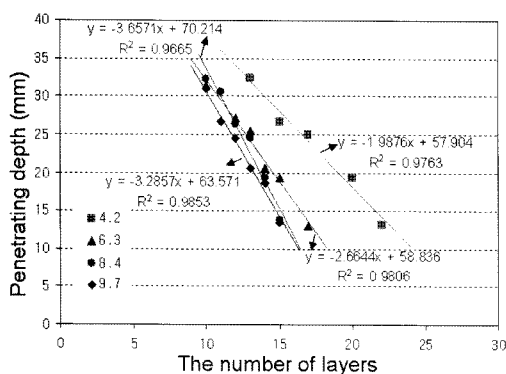


Figure 13. Impact resistance.

감소하였다. 위사밀도가 증가할수록 적층수의 증가에 따른 침투깊이는 감소하는 경향을 보였으며, 6.3 picks/cm 이상에서는 밀도가 증가하여도 침투깊이가 거의 비슷하게 나타났다. 직물의 위사밀도가 증가하면 직물의 두께 및 무게에 영향을 미치게 된다. 그러나 첨단 방검형 직물은 가능한 저밀도이면서 고성능의 제직물이 적합하며, 6.3 picks/cm의 직물 17장을 적층하였을 때 그 무게가 1.28 kg, 두께 18.4 mm, 침투깊이 13 mm로 방검복 소재로 활용하기 적합함을 확인하였다.

5. 결론

국내에서의 방검복 시장은 그 수요가 증가하고 있으며, 최근 군경뿐만 아니라 산업현장에서 보호복의 착용을 의무화하는 법규와 규정이 제정되어가고 있는 실정이므로 그 시장이 매우 커질 것으로 예측된다. 방검복은 안전성과 더불어 쾌적

성과 유연성을 동시에 갖추어야 하며 이를 위해 방검성능 평가 기술의 표준화가 필요하다. 국제규격으로 통용되고 있는 NIJ는 국내실정에 맞게 규격을 검토할 필요가 있으며, 이를 위한 지속적인 실험평가가 필요하다.

방검직물은 섬유소재의 방검성능을 극대화하기 위하여 열가소성수지나 열경화성 수지로 섬유집합체를 보존하여 제조하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근에는 수지가공 뿐만 아니라 방적공정의 설계 및 방검직물의 복합화를 통해 최적의 방검성능을 얻고자 하는 노력이 계속되고 있다. 한국생산기술연구원에서는 코어방적사 직물의 제조를 통해 높은 신도롤 가진 고기능성 방검용 직물을 개발하였으며, 두께 및 무게를 고려한 복합화를 통해 방검성능이 우수한 방검직물을 개발하고 있다.

참고문헌

1. NIJ Standard-0115.00, Stab Resistance of Personal Body Armor.
2. Flambard X., Polo J., "Stab Resistance of Multi-Layer Knitted Structures: Comparison Between Para-Aramid and PBO Fibers", J. Adv. Mater., **36**, p.30-35, 2004.
3. Blyth P.H. and Atkins A.G., "Stabbing of Metal Sheets by a Triangular Knife. An Archaeological Investigation", Int. J. Impact Eng., **27**, pp.459-473, 2002.
4. Ankersen J., Birkbeck A.E., Thomson R.D., Vanezis P., "Puncture Resistance and Tensile Strength of Skin Simulants", Proc. Inst. Mech. Eng., Part H, **213**, pp.493-501, 1999.
5. Nguyen C.T, Vu-Khanh T., Lara J., "Puncture Characterization of Rubber Membranes", Theor. Appl. Fract. Mech., **42**, pp.25-33, 2004.

특 집

정기수, 김연상, 박준호, 홍지은

• 정기수

1984-1988. 경희대학교 섬유공학과 졸업
1988-1991. 경희대학교 섬유공학과(석사)
1994-2000. 독일 Stuttgart 공정공학(박사)
1994-2000. Institut fuer Textil- und Verfahrenstechnik 연구원
2001-현재. 한국생산기술연구원 수석연구원
전화 : 031-8040-6191, Fax : 031-8040-6190
e-mail : gschung@kitech.re.kr

• 김연상

1983-1987. 성균관대학교 섬유공학과 졸업
1987-1989. 성균관대학교 섬유공학과(석사)
2000-2004. 성균관대학교 섬유공학과(박사수료)
1989-1994. 충남방직 기술연구소
1994-현재. 한국생산기술연구원 수석연구원

• 박준호

1991-1998. 영남대학교 섬유공학과 졸업
1999-2001. 영남대학교 섬유공학과(석사)
2006-2008. 한양대학교 섬유소분자공학과(박사수료)
2002-현재. 한국생산기술연구원 연구원

• 홍지은

2000-2003. 서울여자대학교 의류학과 졸업
2006-2008. 연세대학교 의류환경학과(석사)
2007-현재. 한국생산기술연구원 연구원