

파라계 아라미드 섬유 의 용도개발 동향

한인식, 김대수, 이재영, 김오환, 박태혁

코오롱인더스트리(주) 중앙기술원 Heracon 연구소

1. 서론

아라미드(aramid)란 지방족 폴리아미드(aliphatic polyamide)의 대표격인 nylon과 대별되는 용어로서, 1971년 방향족 폴리아미드 섬유를 최초로 개발한 미국 Dupont사에 의해 제안된 후, 1974년 미국 연방통상위원회로부터 받아들여진 방향족 폴리아미드(aromatic polyamide)의 일반적인 표현이다. 미국 연방통상위원회는 아라미드를 "85% 이상의 아미드기(CO-NH)가 두 개의 방향족 고리에 직접 연결된 합성 폴리아미드로부터 제조된 섬유"로 규정하고 있다. 아라미드 섬유는 크게 메타계와 파라계로 대별되며, 메타계는 내열성이 필요한 소재에, 파라계는 강도가 필요한 소재에 사용되고 있다. 특히 파라계 아라미드 섬유는 인장강도 20 g/d 이상, 인장탄성률 500~1,100 g/d 정도의 고강력을 갖고 있을 뿐 아니라, 분해 온도 400 °C 이상의 고내열성과 -160 °C에서도 섬유의 특성을 유지하는 우수한 내한성 및 우수한 절연성과 내약품성을 나타내는 첨단소재이다. 본 섬유는 nylon의 개발이후 고분자계에서 가장 획기적인 발명으로 받아들여지고 있다. 아라미드 섬유는 일반적인 유기 섬유와는 다른 우수한 성질을 가지고 있고 특히 가격대비 성능비가 우수하기 때문에 최초의 상업화 이후, 원사 및 직물을 비롯하여 부직포, UD laminating, staple 등의 형태로 크게 섬유보강 고무복합재료 등의 각종 복합재료, 로프, 케이블, 방탄방호용과 같은 산업자재의 용도로 자동차, 우주항공, 정보통신, 국방 등 다양한 관련 산업분야에서 사용이 확대되고 있는 고부가 소재이다.

파라계 아라미드의 제조기술은 30여 년 전부터 개발되어 왔고, 잘 정립된 기술로서 여러 문헌에 많이 소개되었다. 따라서 본 고에서는 파라계 아라미드 섬유의 주요 용도의 최근 개발 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 아라미드 용도개발 동향

2.1. 방탄

현대의 방탄복은 크게 soft body armor와 hard body armor 2가지로 구분된다. soft body armor는 보통 사람이 착용하는 방탄재를 의미하며, 사람이 착용하기 때문에 유연함 등의 착용감, 무게 등의 제약을 받는다. 일반적인 구성 요소는 아라미드 섬유, UHMWPE 등의 고강력, 고탄성 섬유이다. 보편적인 방탄복은 가볍고 유연해서 착용감이 나쁘지 않으나 세라믹 등의 단단한 재질이 아닌 섬유 소재의 직물이 들어간다는 한계로 인하여 고속탄, 철심탄 등의 충알을 막기 어려우며 직물의 형태적 한계로 인하여 회전체가 아닌 무기인 칼, 화살 등의 뾰족하고 회전이 거의 없는 무기에 있어서는 방호력을 갖기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보통 후면재로서 세라믹 plate나 금속 plate 종류의 성분을 사용한다. 후면재가 없는 방탄복으로도 일반적인 파편탄 등은 충분히 막아낼 수 있으나 고속탄, 철심탄 등을 막기 어렵기 때문에 전시상황에서는 후면재를 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 일상적 근무에 있어서는 해당 병사의 병과 근무 특성에 맞도록 후면재를 제거하고 방탄복을 착용하는 일도 많다. 현재까지 가장 잘 알려진 방탄복의 소재로서는 나일론과 비슷한 계열의 poly(aromatic amide) 계열의 섬유와 초고분자량폴리에틸렌 섬유(UHMWPE)가 있다. para계 poly(aromatic amide) 섬유로는 para계 poly(aromatic amide)와 meta계 poly(aromatic amide)가 있으며 para계 poly(aromatic amide) (이후 p-aramid)가 방탄용으로 사용되며 주요 3사의 제품명인 kevlar(Dupont사, 미국), twaron(Teijin, 일본), heracron(Kolon, 한국) 등이 주로 쓰이며 이 종류의 섬유는 강철을 이용하여 같은 굵기의 섬유로 만들었을 때 강철보다 약 5배나 더 강한 강도를 보여주는 특징이 있다. 반면, 물에 젖게 되면 방호 능력이 떨어져, 방수처리가 필요하다. 이에 반해 UHMWPE 섬유는 spectra라는 이름의 제품이 주로 사용되는데, p-aramid 섬유와 비슷한 강도를 보여주며 물에 젖어도 방호 능력에 큰 차이가 생기지 않으나, 가격이 비싸다는 단점이 있다. 방탄복은 앞서 언급된 2가지 종류의 섬유를 주로 이용하여 제작되는데, 그 사용 형태 또한 다양하다. 일반 직물

로 제작하여 사용하는 경우와 UD(uni-directional, 일방향 섬유)로 제작하여 만드는 경우가 대표적이다.

Hard body armor는 말 그대로 딱딱한 방탄재로서 일반적으로 방탄복 후면재, 방탄 헬멧, 차량, 선박 등에 들어가는 방탄재를 이른다. hard body armor에는 prepreg 형태의 아라미드를 비롯한 UHMWPE 등의 직물 혹은 UD 형태나 silica 등 세라믹 plate가 주로 이용된다. 대부분의 경우(여기에서는 헬멧을 예로 들) prepreg라는 공정을 거치게 되는데, 특수 수지를 사용하여 이러한 공정을 거친 후 수 겹의 sheet를 사용하여 헬멧을 제조하게 된다. 성형에 있어 prepreg를 이용하는 방법이 수지 함량 조절 및 제작상의 품질 관리를 위하여 대단히 편리하다. 여기에서 prepreg란 미경화 상태의 수지를 도포, 건조한 상태의 성형재료를 말하는 것으로 직물에 미리 적합한 함량의 수지를 도포, 건조하여 재료의 절단 및 적층이 용이하도록 제작된 것을 말한다. prepreg는 아직 입체화 되지 않은 평면 구조의 저분자체 수지가 도포되어 있는 상태이며 이것은 가열 및 가압에 의한 반응이 진행됨으로써 경화가 이루어지며 성형품의 완성이 된다.

방탄 성능의 평가에는 몇 가지 조건이 있는데, 우선 정부로부터 공식적으로 허가를 받은 곳에서 평가를 실시하여야한다. 공식적인 허가를 받기 위해서는 규격에 맞는 설비를 갖추고

있어야 하는데, 국내에서 이러한 조건을 만족하는 기관은 육군사관학교, 국방과학연구소, 그리고 사설 기업체의 방탄 시험장 등이 있다. 각각의 테스트 기관은 모든 방호 제품에 대해서 각종 shooting range를 시험할 수 있어야 하며, V50 값을 산출해 낼 수 있는 전문가를 보유하고 있어야 한다. 여기서, V50이란 발사체(총알)가 목표물을 50% 관통할 수 있는 속도를 말하는 것으로서 NATO 표준에 따른다. 방탄복의 방탄 성능은 보통 Figure 1과 같이 분류된 NIJ(National Institute of Justice, 미 법무성 산하 국립사법연구소)의 등급을 주로 사용한다. 이 밖에도 유럽, 러시아, 독일의 등급이 존재하기는 하지만 일반적으로 NIJ 규격이 가장 공신력 있게 통용되고 있다.

각 등급별 해당하는 bullet type에 대한 이해를 돕기 위하여 해당 bullet type의 설명을 Table 1에 나타내었다.

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE BALLISTIC RESISTANCE OF POLICE BODY ARMOR		
Body Armor Threat Levels		NIJ STANDARD 0101.03
	CALIBER	VELOCITY (fps)
I	.22 LRHV (40g) Lead	1,050 - 1,100
	.38 Caliber (158g) Lead Round Nose	850 - 900
IIA	.357 Magnum (158g) Jacketed Soft Point	1,250 - 1,300
	9mm (124g) Full Metal Jacket	1,090 - 1,140
II	.357 Magnum (158g) Jacketed Soft Point	1,395 - 1,445
	9mm (124g) Full Metal Jacket	1,175 - 1,225
IIIA	.44 Magnum (240g) Lead Semi Wadcutter	1,400 - 1,450
	9mm (124g) Full Metal Jacket	1,400 - 1,450
III	7.62 mm (150g) (.308 Caliber) Full Metal Jacket	2,750 - 2,800
IV	30.06 (166g) (.30 Caliber) M2AP Armor Piercing	2,850 - 2,900

Figure 1. NIJ 규격표.

Table 1. bullet type

약자	Full Name	설명
FMJ	Full Metal Jacket	납탄두를 얇은 구리판으로 완전히 덮은 탄두
JSP	Jacket Soft Point	FMJ의 맨 끝 쪽의 재킷이 살짝 벗겨져서 납이 약간 드러난 것임 이것은 피탄 시 펴하고 벌어지면서 FMJ나 납탄보다 큰 상처를 낼 수 있게 고안
HV-LLB	High-Velocity, Long-Length Barrel	고속도나 긴 총신으로 쏘는 경우
RN	Round Nose	리블버용탄에 많은 탄자 끝부분이 둥글게 만들어진 것
SWC	Semi Wad Cutter	wad cutter(탄두 앞이 평면에 가까움)보다 조금 앞이 튀어 나온 것으로 WC보다 파괴력을 높이기 위해 제작된 것
AP	Armor Piercing	철갑탄 탄심에 텅스텐이나 열처리 강철을 사용함
Lead	Lead	납이나 납합금으로 이루어진 탄자
22LR	22 Long Rifle	사격 경기용으로 많이 사용되는 소구경 탄이며 동일 구경대의 권총용 탄약에 비해 상당히 강하며 빠른 속도를 가짐
38SPL	38 Special	리블버용 탄약으로 경찰용 리블버용 탄약
357Mag	357 (Remington) Magnum	38SPL의 강화형 리블버용 탄약이며 미국에서 경찰용과 민간용으로 많이 사용
44Mag	44 매그넘탄	대구경 리블버 탄약이고 가장 강력한 권총탄 중의 일종

Table 2. Teijin Twaron 제직 spec

Style	Linear Density [dtex _{nom}]	Twaron®-Type		Weave	Sett [per 10 cm]		Areal Density [g/m ²]	Thickness [mm]	Breaking Strength [N/5 cm]	
		Warp & Weft	Warp		Weft	Warp			Weft	Warp
CT 704	840 f 1000	2.040	2.000	Plain	107	107	180	0,30	8.000	8.400
CT 706	840 f 1000	2.040	2.000	Plain	126	126	215	0,31	9.000	9.500
CT 709	930 f 1000	2.040	2.000	Plain	105	105	200	0,30	7.600	7.800
CT 710	930 f 1000	2.040	2.000	Plain	117	117	220	0,35	8.400	8.600
CT 714	1100 f 1000	2.040	2.000	Plain	85	85	190	0,30	7.400	7.400
CT 716	1100 f 1000	2.040	2.000	Plain	122	122	280	0,40	9.500	11.000
CT 732	1680 f 1000	2.040	2.000	Plain	68	68	220	0,34	8.500	8.500
CT 733	1680 f 1000	2.040	2.000	Plain	79	79	260	0,40	9.600	9.600
CT 736	1680 f 1000	2.000	2.000	Basket 2x2	127	127	410	0,65	14.000	14.000
CT 737	1680 f 1000	2.000	2.000	Twill 2x2 Z	127	127	410	0,60	14.000	14.000
CT 738	1680 f 1000	2.000	2.000	Basket 2x2	142	142	460	0,65	15.700	15.700
T 713	1100 f 1000	1.040	1.000	Plain	122	122	280	0,40	7.500	7.500
T 730	1680 f 1000	1.040	1.000	Plain	78	78	260	0,40	9.300	9.300
T 735	1680 f 1000	1.040	1.000	Basket 2x2	135	138	475	0,68	16.000	16.000
T 750	3360 f 2000	1.000	1.000	Plain	67	67	460	0,65	13.500	13.500
T 751	3360 f 2000	1.000	1.000	Plain	45	45	300	0,53	9.500	9.500
T 755	3360 f 2000	1.000	1.000	Twill 4x4	88	93	605	1,00	19.500	19.500
T 760	3360 f 2000	1.000	1.000	Twill 4x4	92	92	635	1,05	19.500	19.500

Due to different performance requirements, each of the mentioned styles may be used „as woven“, „scoured“, „scoured and water-repellent-treated [WRT-soft], or „scoured and hard-water-repellent-treated [WRT-hard]“.

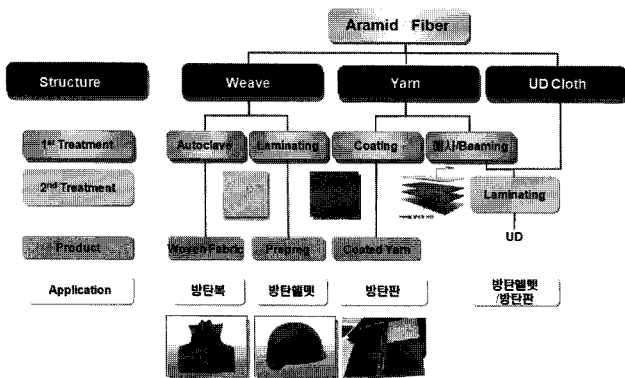


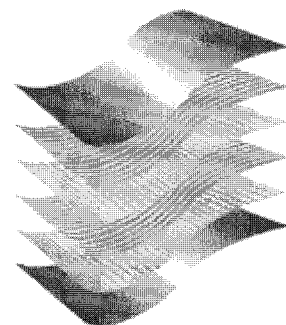
Figure 2. 방탄복합소재 제조 process.

일반적으로 위에 나타난 것처럼 ball 탄에 대한 방탄 성능을 측정하지만, 2차 세계 대전 시 전사자들의 전사 원인 분석 결과, 직접 탄알에 맞아 전사한 군인 수에 비해 총알에 의해 생성된 파편탄에 의한 전사자의 수가 월등히 많았다. 이로 인하여 현재는 ball 탄 이외에도 파편탄에 대한 방탄 성능을 측정하는 것이 일반적이다. 파편 방호는 MIL STD 662F 및 NATO STANG 2920에 따라 시험을 실시하며 단위는 m/s를 사용하여 나타낸다.

Table 2에 방탄용에 사용되는 섬유 직물의 style 물성을 Teijin의 Twaron 제품을 기준으로 나타내었고 방탄 복합소재에 대

한 제조 process에 대하여도 Figure 2에 요약하였다.

최근에는 방탄 성능을 향상시키기 위하여 UD(uni-directional)를 사용하거나 STF(shear thickening fluid)를 사용하는 연구가 진행되고 있기도 하다. UD는 일반 제직물과 달리 섬유를 한 방향으로 늘어놓은 뒤 수지를 이용하여 sheet 형태로 만들어주는 것을 말하며 일반 제직물에 비해 두께가 얇고, 무게가 가벼운 특징이 있다. 일반적으로 각 방향별 강도의 차이를 극복하기 위하여 다음의 그림처럼 일정한 각도를 기준으로 적층시켜서 사용한다(Figure 3).



4 fiber and resin plies, consolidated with thermoplastic film to protect the composite package.

Figure 3. UD 적층 형태.

STF는 가해지는 shear가 강해질수록 점도가 커지는 특성을 갖는 유체를 이용하여 고속으로 회전하며 방탄재에 다가오는 충알을 막아내는 것을 목적으로 한다. 충알의 엄청난 회전으로 인하여 순간적으로 STF의 점도는 높아지고, 높아진 점도로 인하여 충알의 회전 에너지는 감소하게 되고, 방탄복이 충알을 막아내는 효율이 더 좋아지게 된다(Figure 4).

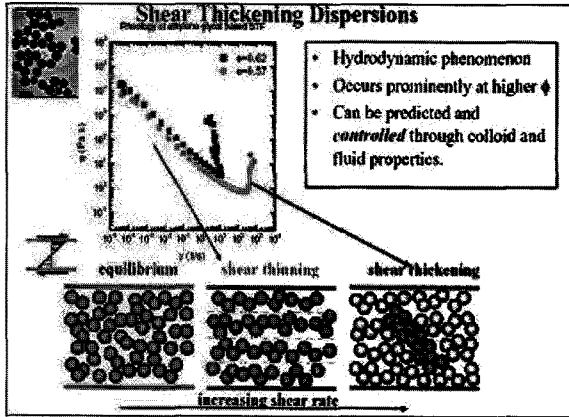


Figure 4. STF의 개념.

2.2. 광케이블

일반적으로 광케이블은 기존 동축케이블과 비교하여 동시 다발적인 신호의 수신에 가능하고 주변의 전자기파에 의한 간섭효과가 없으며 신호 전달 거리에 있어 원거리 전송 시 정보 손실의 우려가 없다는 장점이 있어 동축케이블의 수요를 대체해 나가고 있다. 외부 요인으로 인한 정보의 왜곡이 없고, 빠른 전송 속도 덕분에 의료용 system, 가정용 home network 구축 등의 용도로 많이 쓰이며, 최근 FTTH의 보급으로 인하여 그 수요량이 폭발적으로 증가 추세에 있다. 그러나 광케이블은 주성분인 유리섬유의 동축케이블에 비해 낮은 신장률 및 강도로 인하여 강하게 양 끝단에서 잡아당길 경우 끊어질 가능성이 높은 제품으로서 취급 시 주의 기울여야 하는 단점이 있다. 광케이블은 설치 장소가 공중, 지하, 심해 등을 비롯하여 다양한 특징이 있다. 공중에 설치될 경우, 광케이블의 무게로 인하여 케이블이 쳐지는 현상의 방지, 조류로부터의 쓸림 방지, 화재로 인한 손실의 방지, 외부 온도 변화에 따른 소재의 부피 변화의 최소화 등을 위하여 고강도, 고탄성, 난연성 및 매우 낮은 열팽창계수를 특징으로 하는 아라미드 섬유가 최적의 보조 강화 소재로 쓰이게 된다. 지하에 매설되는 경우에는 쥐가 갉아버림으로 인하여 생기는 케이블의 손상 및 지하 누유로 인한 화재 시 폭발에 의한 순간 하중에 견디는 능력 및 난연성, 그리고 지하의 습기로 인

한 물성의 변화가 최소화 되어야 하며, 온도에 의한 부피의 변화가 거의 없는 아라미드 소재를 사용하며 심해 설치의 경우에도 마찬가지로 해저 탐사선이나 바다 생물에 의한 케이블 손상을 방지하기 위하여 아라미드 섬유가 주로 강화제로서 사용된다. Figure 5는 일반적인 광케이블의 구조로서 핵심적인 구성 요소인 광섬유를 파단으로부터 보호하기 위하여 고강도, 고탄성율의 아라미드 섬유가 사용된 것을 보여준다. 일반적으로 아라미드 섬유는 850 g/d 이상의 고탄성율의 제품이 사용된다. 또한, 광케이블의 광섬유는 물에 의해 성능이 저하되는 단점이 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 특수 처리된 아라미드 섬유가 사용되기도 한다. 이 때 사용되는 특수 처리된 아라미드 섬유란 water blocking 된 섬유를 뜻하는데, 아라미드 섬유에 흡수제 처리를 하여 광케이블의 jacket에 균열이 생겨 그 틈으로 물이 스며들어 올 경우, 들어온 물을 광섬유를 둘러싸고 있는 아라미드 섬유에 처리된 흡수제가 물을 흡수, 광섬유를 보호하는 원리이다(Figure 6).

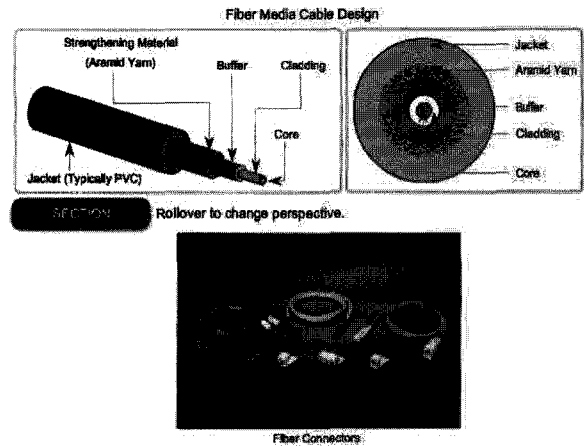


Figure 5. 광섬유의 일반적인 구조. (사진 출처 : <http://www.highteck.net>)

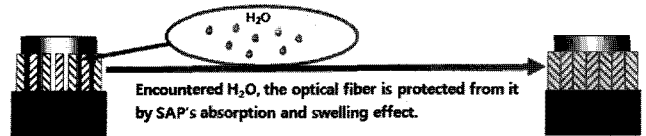


Figure 6. water blocking의 기본 개념.

2.3. MRG(Mechanical Rubber Goods)

MRG는 mechanical rubber goods의 약자로 다양한 복합체(composite) 중 고무와의 복합체(composite)를 지칭하며, 기재(matrix)로는 고무가, 보강재(domain)로는 주로 섬유를 사용하는 것을 말한다. MRG는 고무에 들어가는 기타 첨가제

(additives)는 달리 보강제인 섬유가 기계적 물성을 담당하는 뼈대의 역할을 하는 것으로 첨가제와는 구별된다.

MRG의 용도는 타이어 코드와 호스, 벨트 등이 가장 많이 차지하며, 그 중 타이어 코드가 전체의 40% 이상을 차지하며, 호스와 벨트가 합쳐서 타이어 코드와 비슷한 수준이다(Figure 7).

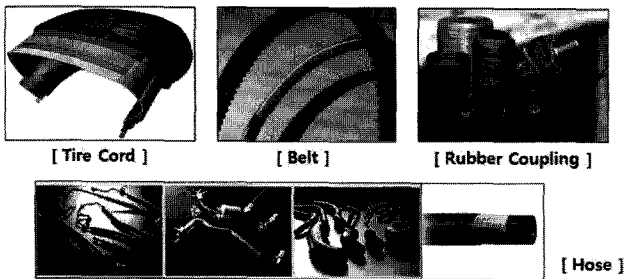


Figure 7. MRG 용도.

1900년도 초에는 MRG 용도가 제한적이어서 큰 물성이 요구되지 않아 보강제로 구하기 쉬운 면사 등을 사용하였지만 시대가 변함에 따라 점점 더 높은 물성을 요구하게 되어 보강제의 소재가 변화하게 되었다(Figure 8).

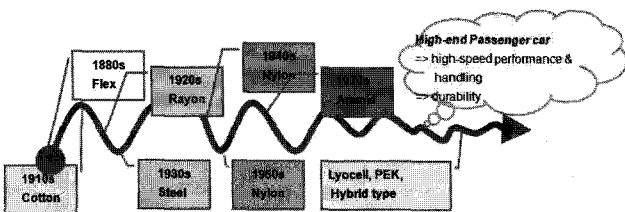


Figure 8. history of MRG materials.

최근 들어 경량화 및 고성능화에 따라 신소재에 대한 요구가 산업체의 응용분야에서 집중되는 가운데 세계적으로 이에 대한 연구가 비상한 관심을 가지게 되었으며, 이 중 고성능 유기섬유는 기존의 강화제 섬유인 유리섬유, 탄소섬유, 세라믹섬유 및 금속섬유의 단점을 보완하면서 새로운 기능을 부여하는 관점에서 연구가 시작되었다.

이와 같은 고성능 유기섬유는 무게감량과 제조원가 및 디자인의 경비 절감 차원에서 이점이 있으며, 고성능 유기섬유의 고유물성에 의해 복잡한 형태의 가공이 가능하며, 내마모성과 사용수명의 연장 등으로 인해 우주항공분야 및 심해구조분야와 같은 특수응용분야에 매우 중요한 소재로 강조되고 있다(Figure 9, Table 3).

고성능 유기섬유로 널리 알려진 kevlar 아라미드 섬유는 자동차의 steel belted radial tire의 대체 강화제로 Dupont사에

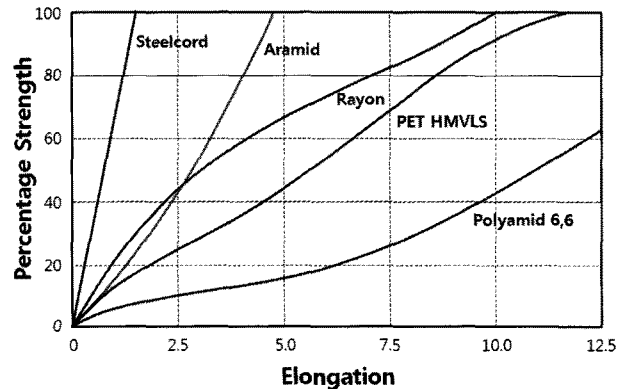


Figure 9. 타이어 보강제로 사용되는 섬유소재에 따른 강도와 신도 비교.

Table 3. 고성능 섬유와 강철의 특성 비교

소재별 물성	Carbon fiber	Duralumin Steel	Glass fiber	Aramid fiber	Stainless fiber
Density (g/cm ³)	1.82	2.77	2.55	1.45	8.03
Tensile Strength (Mpa)	4900	422	3430	3630	520
Tensile Modulus (Gpa)	240	74	74	131	197
Specific Strength (106cm)	27.5	1.6	13.7	25.5	0.7
Specific Modulus (108cm)	13.5	2.6	2.9	9.2	2.5

의해 처음 개발되었으며, 그 응용분야는 확장되어 자동차 부품으로는 brake pad, gear housing, 경기용차 본체 판넬, drive chain 및 눈썰매 본체 등에 적용되며, 고내압, 고내열 fuel hose, 고압 power steering hose, 내열 coolant hose 등에 적용 가능하다.

특히, 아라미드섬유는 tire cord, conveyor belt, transmission belt, hose 류와 같은 산업용 MRG(mechanical rubber goods)의 보강제로 높은 인장강도와 높은 modulus 및 내열성, 형태 안정성 등의 특성을 만족함으로 고성능 tire, belt 및 hose 제품에 아라미드 섬유와 같은 고성능 소재들에 대한 개발 및 사용이 점차 늘어나고 있다(Figure 10).

그러나 높은 가격과 낮은 절신에 의한 불량한 피로도와 초기의 높은 모듈러스로 인해 MRG 제조공정에서 가류 시 팽창이 일어나지 않는다는 약점을 가지고 있어 경주용 자동차나 항공기 및 일부 산업용 기계의 특정 용도로 사용이 극히 제한적이었다.

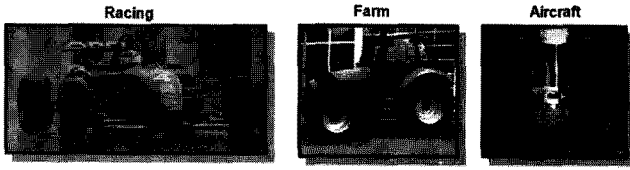


Figure 10. MRG 용 아라미드 섬유의 응용분야.

이런 약점을 극복하기 위하여 최근에는 단일소재가 아닌 이종소재들을 조합하는 hybrid cord를 개발하는 추세이다. hybrid cord는 소재를 조합하는 방식으로 제조되기 때문에 개발이 용이하며, 또한 조합하는 방식 및 소재 선정에 따라서 원하는 물성을 만들 수 있으며, tailored properties를 제조할 수 있어 다양한 적용이 가능하고, 고가의 소재와 범용 소재와의 혼합으로 인하여 고가의 소재 단독을 사용할 경우 발생하는 높은 소재 가격을 낮출 수 있다(Figure 11).

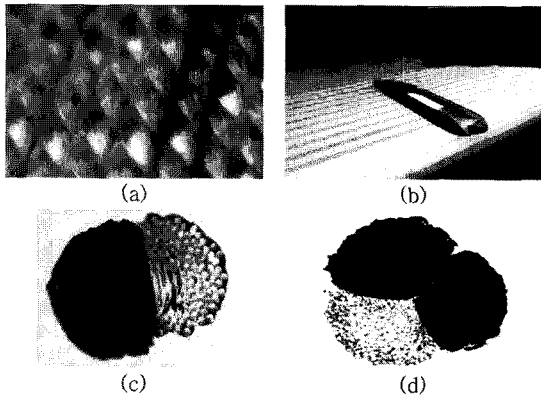


Figure 11. MRG 용 hybrid cord의 예시 : (a) hybrid cord, (b) hybrid cord fabric, (c) 2-ply, (d) 3-ply.

그리고 두 개 이상의 소재를 사용하기 때문에 서로 상이한 여러 가지 물성을 모두 가질 수 있도록 제조가 가능하며, 기존에 가지고 있던 후가공 설비를 대부분 그대로 사용하여 제조할 수 있기 때문에 추가적인 설비 개조나 설치가 소재 개발 대비하여 매우 작아지는 장점을 가진다(Table 4).

1900년도 후반에는 산업의 발전으로 삶의 질 향상을 위해 각종 레저 활동이 활발해져 RV(recreational vehicle)나 SUV(sports utility vehicle)같은 스포츠용 레저차량의 수요가 증가하고 이에 따라 하중이 높고, 오프로드의 다양한 외부충격에도 견딜 수 있는 고성능을 만족하면서도 가격과 수명을 동시에 만족시키기 위해 hybrid cord 개발에 더욱 박차를 가하고 있다(Figure 12).

Table 4. hybrid cord 특성에 따른 장점

Hybrid cord의 특성	장점 및 용도
Lower initial modulus	Snap on mount, belt lift in the tire crown
Regain of modulus in second part	Belt vibration reduction
Increased elongation	Increased toughness
Improved fatigue resistance	Tires, Air spring, Belt
Controlled shrinkage (tension)	Tuning cap ply functionality, fit hose on mandrel
Reduce cord thickness at same strength	Smaller air spring, smaller hoses, weight reduction



Figure 12. MRG 용 hybrid cord의 응용분야.

2.4. Staple Fiber

파라계 아라미드 staple fiber의 경우(Figure 13) 각종 방적사의 형태로 산업용, 레저용 보호의류(보호복의 소재 및 장갑 등)로 사용되어지고 있으며, staple fiber 상태에서 부직포의 형태로 각종 펠트 및 보호복의 소재로 사용되어지고 있는 등 점차 용도가 확대되고 있다. 특히 기능성 보호복은 대부분 수입에 의존하고 있으며 국내에서는 불충분한 성능의 섬유재료로 제작하여, 위험 상황에서 일하는 이들의 안전을 충분히 보장하지 못하는 상황이므로 이들의 안전과 생명을 보장하기 위해서는 파라계 아라미드 staple fiber 기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 또한, 전 세계 파라 아라미드 스테이플의 시장규모는 2010년 기준으로 1,940억 원이며, 국내 시장은 약 100억 원 정도이다.

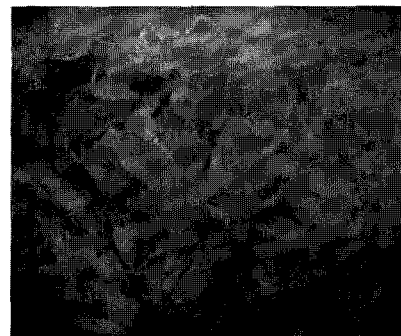


Figure 13. para-aramid staple fiber.

또한, 주로 filament에 치중하고 있고 staple fiber의 경우 기술특성 및 용도특성을 파악하는데 up-down 산업군과 stream 연계의 어려움으로 인하여 개발이 더딘 실정이다. 즉, filament의 경우 원사제조 후 1~2단계에 이르면 user가 사용하는 최종제품이 되는 경우가 많지만 staple의 경우 원사-staple-방적-편성(혹은 제직-봉제) 등 연계 산업군이 많아 용도전개에 어려움이 있으므로 원천 소재의 국산화가 이루어진다면 연계 산업군에 미치는 파급 효과가 클 것으로 기대가 되고 있는 분야이다. 파라계 아라미드의 staple 파이버 제조에 필요한 기술력 및 제조공정은 Figure 14와 같다.

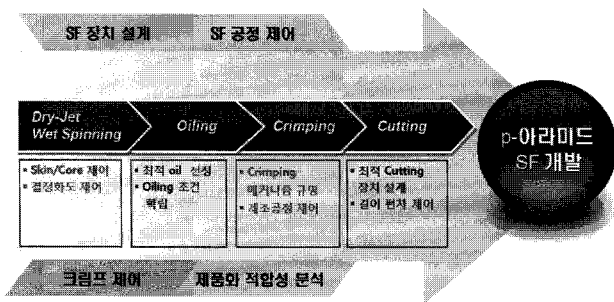


Figure 14. 파라계 아라미드 staple fiber 제조 기술.

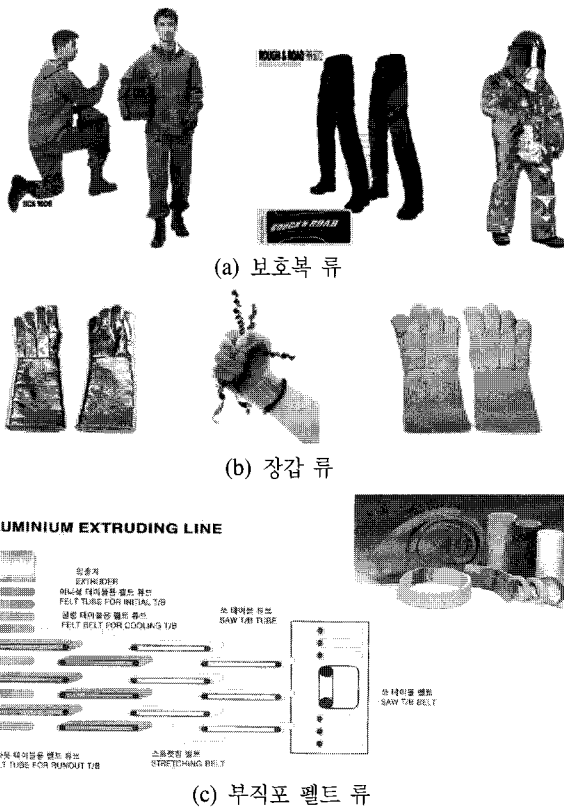


Figure 15. staple fiber 및 이를 이용한 spun yarn의 주요 용도.

- 해사 : filament unwinding 시 장력 조절이 중요, feeding 양 결정
 - 연신 : 유제 함침, 균일한 장력 유지
 - 크리핑 : stuffer box 압력 조절을 통한 크리프 갯수 조절
 - 건조 : 형성된 크리프 형태 열고정, 수분을 조절
 - 절단 : 최종 용도에 맞는 길이로 절단, 장력 유지
- 파라 아라미드 스테이플은 섬유 고유의 특성인 고강력과 고내열성을 바탕으로 용도전개가 이루어진다. 파라 아라미드 스테이플은 우선 방적사와 부직포의 형태로 만들 수가 있으며, 그 중 방적사는 제직 또는 편직공정을 거쳐서 최종 제품으로 제조되게 된다. 파라 아라미드 방적사는 내절단성, 내마찰성, 내열성 등의 특징을 가지며, 산업용 및 가정용 장갑, 소방복, 용접복, 경정복 등의 보호복으로 용도가 전개되고 있다. 파라 아라미드 부직포는 내열성을 중심으로 한 펠트나 필터, 방검복이나 소방복 등의 안감에 사용되고 있다(Figure 15).

2.5. 펄프

일반적으로 펄프란 목재나 그 밖의 섬유 식물에서 기계적·화학적 또는 그 중간 방법에 의하여 얻는 셀룰로스 섬유의 집합체라고 정의하는데, 파라아라미드 펄프의 용도로는 석면의 대체재로 사용되고 있는 마찰재와 가스켓 등이 있다. Figure 16에 아라미드 펄프의 주요 용도를 나타내고 있다.

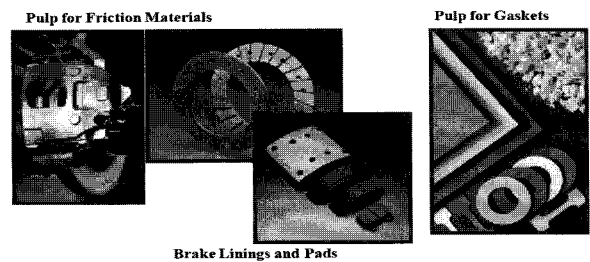


Figure 16. 아라미드 펄프 주요용도.

한편, 아라미드 펄프를 이용하여 paper를 제조한 후, 이 paper에 수지를 함침 시킨 뒤 육각형 모양의 sheet를 적층 시킨 소재를 제조하는데, 이러한 소재를 honeycomb이라고 한다. 아라미드 honeycomb은 뛰어난 경량화와 구조적인 강도를 부여할 수 있는 장점이 있어 비행기 부품이나 스포츠 용품에 많이 적용이 되고 있다.

2.6. 기타용도

고성능 아라미드는 상기 제품 외에도 hybrid composites를 이용한 다양한 제품에 적용된다(Table 5).

Table 5. hybrid composites 적용 분야

분야	요구 특성	용도
건물 및 보수보강용	압축 및 신장 변형 저항성이 우수하면서 내진 및 방폭 특성이 요구되는 건물 보강용	내진건물, 방폭 건물 등
보호용 장비	형태안정성 외부 stress에 대한 변형성이 적으면서 충격특성 및 내크립저항성이 우수한 장비	스포츠헬멧, 등보호구 등
스포츠 장비	반발탄성율이 우수하면서 공의 터치감이나 진동흡수성이 뛰어난 스포츠 장비	탁구, 하키, 골프채 등
항공 우주 분야	압축강도 및 변형저항성이 뛰어나면서 내충격 및 방탄특성이 요구되는 분야	방탄판넬 방탄의자

특히 자동차와 항공기의 경우 경량화 및 강도보강을 목적으로 많은 부품에 아라미드 hybrid composites가 적용되고 있다(Figure 17,18).



Figure 17. hybrid composites 적용분야 - 자동차.

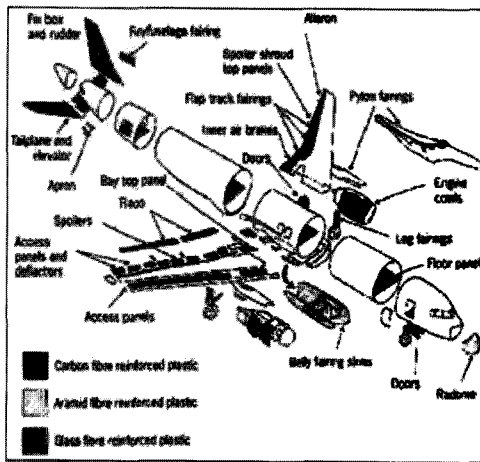


Figure 18. hybrid composites 적용분야 - 항공기.

이 외에도 인체보호용 방검, 방호복 및 고강도, 방염성이 요구되는 제품에 많이 적용되고 있으며, 그 적용제품은 점점 더 늘어날 것으로 예상된다(Figure 19).



Figure 19. 아라미드를 적용한 방호복.

3. 결론

지금까지 아라미드 섬유소재의 주요 용도에 대한 최근 개발 동향에 대하여 간략하게 살펴보았다. 이와 같이 현재 아라미드 섬유는 꾸준히 수요가 증가하고 있는 실정이고, 또한 새로운 용도개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 하지만 아라미드의 비싼 가격, 가공성의 부족 및 제한된 용도 등으로 새로운 용도개발에 걸림돌로 작용될 수 있다. 따라서 향후 이를 극복하기 위한 저가의 단량체 제조, 공정의 단순화, 저가의 펄프 제조, 폴리머 개질에 의한 직접 방사법, 방사속도 증대에 의한 생산성 향상, 다양한 용도에 부합하는 섬유 생산을 위한 폴리머 개질 등이 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

1. 극한성능 차세대 산업용섬유 개발, 산업자원부, 2001.
2. 분자제어기법을 이용한 산업용 하이테크섬유 기술개발에 관한 산업분석, 산업자원부, 2002.
3. H.H. Yang, Kevlar Aramid Fiber, John Wiley & Sons, 1993.
4. Fibers Candidating for (Ultra) High-Performance Tires, 2004.
5. PCI Report, 2006.
6. 한국섬유공학회, "최신합성섬유", 형설출판사, 2001.

• 한인식 -----

1985. 서울대학교 화학공학과 졸업
1994. 포항공과대학교 화학공학과(석사)
1984-2004. (주)코오롱 연구원
2005-현재, 코오롱인더스트리(주)중앙기술원 Heracron연구소장
e-mail : ishan@kolon.com

• 김대수 -----

1987. 영남대 기계공학과 졸업
2005. 영남대학교 기계공학과(석사)
1987. (주)코오롱 엔지니어링 및 기술혁신실
2000. (주)코오롱 SPX 생산팀, 환경 공무팀
2004. (주)코오롱 Heracron PJT 및 생산팀
2007-현재, 코오롱인더스트리(주)중앙기술원 Heracron연구소 수석연구원
e-mail : cokds@kolon.com

• 이재영 -----

1990. 연세대학교 화학과 졸업
1992. 포항공과대학교 화학과(석사)
2002. 포항공과대학교 환경공학부(박사)
1991-1996. (주)코오롱 연구원
2004-현재, 코오롱인더스트리(주)중앙기술원 Heracron연구소 책임연구원
e-mail : jeyoung@kolon.com

• 김오환 -----

1994. 경북대학교 공업화학과 졸업
1996. 경북대학교 공업화학과(석사)
1996. 태광산업 (주) 중앙연구소 대덕연구단지
2003-2010. (주)코오롱 헤라크론 PJT팀 헤라크론 기술팀
2010. 코오롱인더스트리(주)중앙기술원 Heracron 연구소 책임연구원
e-mail : ohkim@kolon.com

• 박태학

2000. 경북대학교 고분자공학과 졸업
2002. 경북대학교 고분자공학과(석사)
2002-2004. (주)코오롱 연구원
2005-현재, 코오롱인더스트리(주) 중앙기술원 Heracron 연구소 선임연구원
e-mail : park7747@kolon.com