

漁具材料用 新素材纖維의 物性分析

- 1. 新素材纖維의 引張強度 -

金 泰 浩 · 高 冠 瑞

釜山水産大學校

(1993년 5월 2일 접수)

Physical Properties Analysis of the High-tech Fibers for Fishing Gear Materials

- 1. Tensile Strength of the High-tech Fibers -

Tae-Ho KIM and Kwan-Soh KO

National Fisheries University of Pusan

(Received May 2, 1993)

In order to analysis the tensile properties of the high-tech fibers for fishing gear materials, tensile strength was tested on raw materials, single yarns and netting twines (plied yarns) made of nylon, kevlar 29 and techmilon respectively.

The results obtained are as follows :

1. The tensile stress and tenacity of unknotted single yarns in dry and wet conditions were 3 to 3.5 times greater in the high-tech fibers than in nylon. But the elongation of the high-tech fibers was about 15% of that in nylon.

2. The tensile strength of knotted single yarns in dry and wet conditions was arranged in order of as follows: techmilon, kevlar 29, and nylon. The ratio of knot strength to tensile strength, knot efficiency, was the highest in nylon.

3. The tensile strength of unknotted netting twines in dry and wet conditions was 2.3 to 2.5 times greater in the high-tech fibers than in nylon.

4. The tensile strength of knotted netting twines in dry and wet conditions was arranged in order of as follows : techmilon, kevlar 29, nylon. The knot efficiency was the highest in nylon.

緒 論

操業中 발생하는 그물실이나 로프의 破斷은 漁具를 무리하게 사용하는데 기인한 경우도 많지만, 漁具材料의 固有強度가 작은 것에도 큰 원인이 있기 때문에, 최근에는 材料의 固有強度가 既存의 合成纖維에 비하여 현저하게 증강된 新素材纖維의 이용이 점차 증대되고 있다.

한편, 현재 漁業用 로프나 그물실로 이용되고 있는 新素材纖維는 그 대부분이 아라미드(aramide)계통의 케브라 29(kevlar 29)와 高強力 폴리에틸렌(high strength PE)으로서, 이들은 1980년대 중반부터 중충트롤, 로프트롤과 같은 大形 漁具의 날개 부분의 그물실 및 끝자루(cod-end)부분의 보강용 로프로서 부분적으로 이용되어져 왔으나, 최근에는 그 범위가 확대되어 저충트롤, 빗트롤 및 주낙漁具에까지 이용되고 있다(FAO, 1989, 1991).

따라서, 新素材纖維의 材料力學的 特性들을 정확히 파악하고, 각종 漁具에 알맞는 材料를 선택하여 漁具를 제작·사용하는 것이 중요한 과제로 등장하게 되었다.

合成纖維가 漁具材料로 도입된 이후에 漁具의 材料力學的인 측면에서의 연구는 주로 그물실, 그물감 및 로프의 強度에 중점을 두어 왔으며, 이것은 漁具를 설계할 때 그물실이나 로프의 破斷強度가 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다. 지금까지 그물실이나 그물감 및 로프의 引張強度에 대해서

많은 연구(草間, 1937; 本多, 1956; Brandt *et al.*, 1964; 高 등, 1976; 山本, 1985; 小山, 1991)가 이루어져 왔으나, 그 대부분은 既存의 合成纖維에 관한 것이므로 새롭게 도입된 新素材纖維에 관한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이와 같은 관점에서 본 연구에서는 현재 漁具材料로 많이 사용되고 있는 케브라 29와 高強力 폴리에틸렌 계통의 테크밀론(techmilon)에 대한 原絲, 홀실, 그물실(겹실구조)에 대한 引張試驗을 통하여 漁具材料用 新素材纖維의 引張特性을 파악하고, 그 결과를 既存의 合成纖維 중 나일론과 비교·분석하였다.

材料 및 方法

1. 試料 및 試驗片

試驗에서 사용한 試料의 제원은 Table 1과 같다. Table 1의 나일론, 케브라 29 및 테크밀론 原絲는 美國 Du Pont 및 日本 三井石油化學(株)의 제품으로서, 그물실은 이들 原絲를 꼬아서 만든 것(三海工業社(株)제품)이다.

原絲의 引張試驗에 사용된 試驗片은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 原絲의 슬립과 클램프로 인한 손상을 방지하기 위하여, 각 試料의 홀실로부터 무작위로 꺼낸 原絲를 받침종이 위에 중앙선을 따라서 에폭시수지로 고정시켰다.

또한, 홀실과 그물실의 引張試驗에서는 클램프

Table 1. Specification of test materials used in tensile test

materials	raw materials	single yarns	netting twines(plied yarns)		
	diameter(μm)	construction	construction	diameter(mm)	no.of twist
nylon	28.9 \pm 1.8	Td1050/140F no twist	Td1050/ 140F 7 \times 3	1.8	94
kevlar 29	13.6 \pm 2.3	Td3000/1333F no twist	Td3000/1333F 2 \times 3	1.6	63
techmilon	14.9 \pm 4.4	Td1600/1560F no twist	Td1600/1560F 3 \times 3	1.6	63

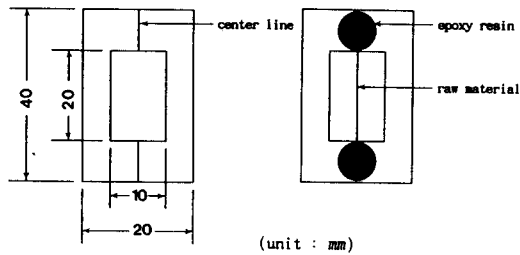


Fig. 1. Testing specimen for tensile test of raw materials.

부근에서 試料가 판단되지 않도록 하기 위하여 클램프에 죄이는 試料의 부분을 범포로 감싸고 접착 테이프로 피복하여 보강하였다.

2. 實驗裝置

原絲의 引張試驗에서는 정속신장형 인장시험기(용량: 200gf)를 사용하였고, Fig. 2에서와 같이 인장시험기로부터 출력되는 신호를 변형 증폭기(CDV-230C4+YA-5048, NEC)로 증폭하여 X-Y 기록계(EDG-2410)에 기록되도록 하였다.

한편, 홀실 및 그물실의 경우 만능시험기(Instron Model 4204, 용량: 5,000kgf)를 사용하였으며, 이것은 컨트롤콘솔 및 개인용 컴퓨터에 접속되어 있어, 컨트롤콘솔에 기록되는 破斷荷重과 伸張率이 컴퓨터의 CRT화면 및 프린터에 출력되도록 하였다.

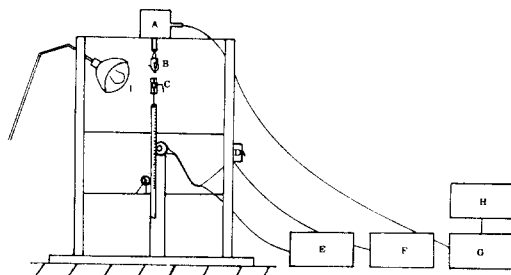


Fig. 2. Apparatus for tensile test of raw materials.

- A : load cell
- B : fixed clamp
- C : movable clamp
- D : control switch
- E : speed controller
- F : motor
- G : strain amplifier
- H : X-Y recorder
- I : light

또한, 그물실의 引張試驗의 경우에는 정확한 破斷伸張率을 측정하기 위하여 변위센서(變形量測定範圍: $10. \times 10^{-6}cm$, 直線度: $\pm 0.5\%$, 最大電壓: DC 5V, LQ-50F)를 試料에 부착하여 破斷伸張率을 측정하였다. 이 경우 破斷伸張率은 電壓의 變化量을 A/D 변환기를 통해 컴퓨터에 입력되도록하여 구하였다.

3. 方 法

原絲의 引張試驗에서는 試驗片의 에폭시수지가 도장된 부분에 인장시험기의 클램프가 물리도록 하여 7mm/min의 속도로 인장하였다. 이 경우 측정온도는 20℃였고, 시험횟수는 50회였다.

한편, 試料의 破斷應力은 原絲의 破斷荷重을 斷面積으로 나누어 구하였으며, 각 試料의 破斷荷重을 原絲의 데니어(denier)로 나누어 比應力(tenacity, g/d)으로 환산하였다.

自重에 의한 파단길이 $L_r(km)$ 는 原絲의 破斷應力을 σ_r , 原絲의 密度를 ρ 라 할 때

$$L_r = \sigma_r \times \frac{1}{\rho}$$

에 의하여 구하였다(Brandt *et al.*, 1964).

홀실 및 그물실 引張試驗은 클램프 사이 간격을 200mm로 하고, 100mm/min의 引張速度로 행하였다. 이 때 인장시험기의 클램프는 홀실의 경우 공기압축식 클램프이고, 그물실의 경우에는 試料를 감아매는 방식의 잭스턴 클램프였다. 이 경우 클램프에서의 試料의 슬과 손상을 최대한 방지하기 위하여 클램프에 범포를 부착하였다. 또한, 荷重을 가하기전에 각 試料의 건조시 250m에 상당하는 무게로 前加張力(pretension)을 주었다.

시험은 건조 및 습윤상태로 나누어 引張強度, 破斷伸張率, 매듭強度 및 引張強度에 대한 매듭強度의 比 즉, 매듭效率을 측정하였으며, 습윤시험에 사용된 試料는 청수에 24시간 침지시킨 것을 이용하였고, 매듭의 형태는 overhand knot였다. 측정온도는 24℃였고, 시험횟수는 10회였다.

다.

한편, 측정된 홀실의 破斷荷重은 試料의 斷面積을 이용하여 引張應力을 구하였으며, 이것을 산출하는데 필요한 斷面積 $A_y(mm^2)$ 는 織度 $t(tex)$ 와 密度 $\rho(g/cm^3)$ 로 부터

$$A_y = \frac{t}{\rho} \times 10^{-3}$$

을 이용하여 구했다(韓國學術振興財團, 1991).

그물실의 引張試驗의 경우 클램프 부근에서 신장되는 길이도 破斷伸張率에 포함되므로 순수 破斷伸張率을 구하기 위하여 試料의 中央部 標點距離(gauge length) 100mm의 양단에 변위센서를 부착하여 伸張率을 구했으며, 이 값을 인장시험기에서 얻은 클램프간의 伸張率과 비교하였다.

結果 및 考察

1. 原 絲

나일론, 케브라 29 및 테크밀론 原絲의 引張強度는 Table 2와 같다. Table 2에서 보면 原絲의 引張應力은 케브라 29가 $376.69kg/mm^2$ 으로 가장 크고, 테크밀론과 나일론이 각각 $260.80/mm^2$, $105.16kg/mm^2$ 이었다.

比應力은 테크밀론과 케브라 29가 각각 $30.19g/d$, $29.07g/d$ 로서 이 값은 나일론의 $10.25g/d$ 보다 약 3배 컸고, 自重에 의한 파단길이 역시 테크밀론 및 케브라 29가 나일론보다 약 3배

Table 2. Tensile strength of raw materials

materials	tensile stress (kg/mm^2)	tenacity (g/d)	breaking length (km)
nylon	105.16 ± 8.65 (1.03GPa)	10.25	92.25
kevlar 29	376.69 ± 12.82 (3.69GPa)	29.07	261.80
techmilon	260.80 ± 15.09 (2.56GPa)	30.19	270.75

컸다.

2. 홀 실

홀실의 引張應力 및 매듭強도와 伸張率의 측정치는 Table 3 및 4와 같고, 應力-變形率曲線(stress-strain curve)은 Fig.3과 같다. Table 3에서 나일론의 破斷應力은 건조시 $73.31kg/mm^2$, 습윤시 $63.73kg/mm^2$ 으로서 건조시의 경우가 습윤시의 경우보다 약간 높게 나타났으나, 케브라 29와 테크밀론의 경우 건조시 및 습윤시 모두 약 $220kg/mm^2$ 으로 큰 차이 없었다.

그러나, 이들 세 試料이 홀실에 대한 破斷應力의 값은 原絲에 대한 破斷應力보다 작았다. 이것은 인장시 홀실을 구성하는 原絲 상호간의 摩擦로 인하여 應力이 작아졌기 때문이라고 생각된다(金 등, 1991).

한편, 破斷伸張率은 나일론이 약 20%, 新素材纖維가 약 3%로서, 특히 나일론과 케브라 29의 경우 건조시에 비하여 습윤시의 破斷伸張率이 약간 높았다.

Table 4에서 건조시와 습윤시에 대한 나일론의 매듭強도는 각각 $52.98kg/mm^2$, $51.12kg/mm^2$ 였고, 매듭效率은 건조시와 습윤시 각각 약 72%, 80%였다. 이것에 비하여 新素材纖維의

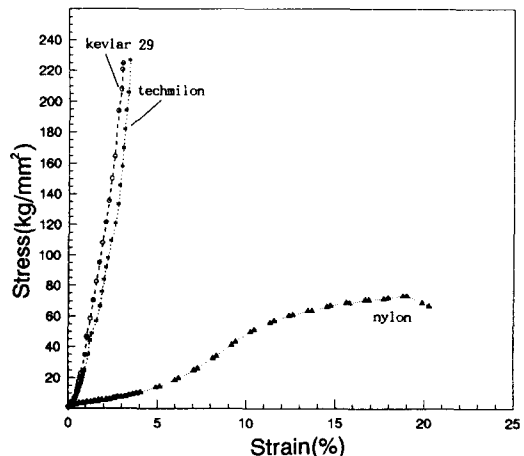


Fig. 3. Stress-strain curves of unknotted single yarns in dry condition.

Table 3. Results of tensile test for unknotted single yarns

conditions	materials	breaking load (kg)	tensile stress (kg/mm ²)	tenacity (g/d)	strain (%)	breaking length (km)
dry	nylon	7.50±1.24	73.31(0.72GPa)	7.15	20.27	64.31
	kevlar 29	52.03±2.43	224.75(2.20GPa)	17.34	3.02	156.09
	techmilon	41.24±4.18	222.68(2.18GPa)	25.78	3.42	231.96
wet	nylon	6.52±1.05	63.73(0.72GPa)	6.21	23.60	55.90
	kevlar 29	51.77±2.12	223.63(2.19GPa)	17.26	3.16	155.31
	techmilon	40.98±3.90	221.27(2.17GPa)	25.61	3.38	230.49

Table 4. Results of tensile test for knotted single yarns

conditions	materials	breaking load (kg)	tensile stress (kg/mm ²)	tenacity (g/d)	strain (%)	breaking length (km)
dry	nylon	5.42±0.87	52.98(0.66GPa)	5.16	7.15	46.47
	kevlar 29	20.91±1.46	90.32(0.89GPa)	6.97	2.25	62.72
	techmilon	15.96±1.82	86.18(0.85GPa)	9.98	2.21	89.77
wet	nylon	5.23±0.91	51.12(0.49GPa)	4.98	10.57	44.84
	kevlar 29	17.31±1.32	74.77(0.74GPa)	5.77	2.16	51.92
	techmilon	14.99±1.77	80.94(0.79GPa)	9.37	2.24	84.31

매듭强度는 건조시 86.18~90.32g/mm², 습윤시 74.77~80.94kg/mm²로 나일론의 매듭强度보다 약간 크지만, 매듭效率은 40% 이하로 매우 작았다.

Fig. 3의 應力-變形率曲線을 보면 나일론의 경우에 있어서는 降伏點(yielding poing)을 거쳐 일정한 塑性變形(plastic deformation)이 생기면서 과단되는 延性破壞(ductile fracture)현상이 나타나는 반면, 新素材纖維의 경우 塑性變形이

거의 존재하지 않는 直線形態의 脆性破壞(brittle fracture)를 나타내고 있다. 세 曲線에서 變形의 초기에 强度의 저하와는 달리 어느 지점에서의 급격한 상승은 原絲의 이완, 크리프(creep) 및 힘에 의한 伸張으로 생긴 것이라고 생각된다(金 등, 1991).

3. 그물실

나일론, 케브라 29 및 테크밀론 原絲로 구성된

Table 5. Breaking load and elongation of unknotted netting twines

conditions	materials	breaking load (kg)	elongation (%)	
			A*	B*
dry	nylon	106.44± 8.16	72.11	27.94
	kevlar 29	253.29±11.23	14.48	3.28
	techmilon	244.03±12.65	40.19	4.42
wet	nylon	104.90± 7.64	76.45	29.98
	kevlar 29	244.57±10.11	17.90	3.40
	techmilon	238.35±10.47	43.78	4.52

* A indicates the values measured with universal testing machine and B does that measured with displacement sensor.

Table 6. Breaking load and elongation of knotted netting twines

conditions	materials	breaking load (kg)	elongation (%)	
			A*	B*
dry	nylon	60.22± 5.38	38.30	21.02
	kevlar 29	105.70± 8.02	11.82	2.67
	techmilon	116.50±10.59	13.12	2.82
wet	nylon	58.25± 5.25	52.77	24.33
	kevlar 29	88.34± 7.31	12.82	2.76
	techmilon	113.06± 8.67	18.09	3.22

* A and B were shown in Table 5.

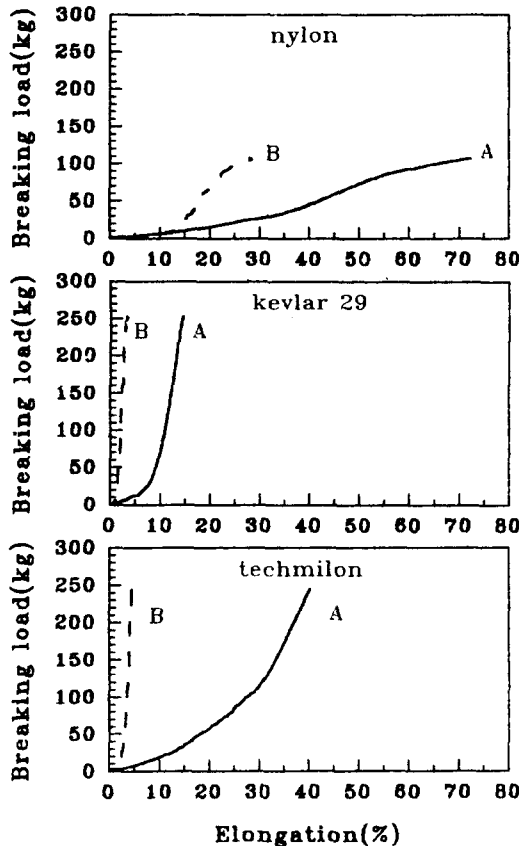


Fig. 4. Breaking load-elongation curves of unknotted netting twines in dry condition. A indicates the curves measured with universal testing machine and B does those measured with displacement sensor.

그물실과 매듭그물실의 破斷荷重 및 伸張率을 Table 5 및 6에, 破斷荷重-伸張率曲線(breaking load-elongation curves)을 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Table 5에서 건조시와 습윤시에 대한 나일론의 破斷荷重은 각각 106.44kg, 104.90kg이었고, 케브라 29는 각각 253.29kg, 244.57kg, 테크밀론에 있어서는 각각 244.03kg, 238.25kg으로서, 건조 및 습윤상태에서 新素材纖維 그물실의 破斷荷重이 나일론 그물실보다 2.3~2.5배 컸다.

한편, 건조시와 습윤시에 대한 매듭그물실의 破斷荷重은 나일론의 경우 각각 60.22kg, 58.25kg, 케브라 29는 각각 105.70kg, 88.34kg, 테크밀론은 각각 116.5kg, 113.06kg으로서, 매듭그물실의 破斷荷重 역시 新素材纖維가 나일론보다 1.5배~1.9배 컸다.

그러나, 그물실의 매듭效率는 홑실에서와 같이 나일론이 약 55%로 가장 크고, 테크밀론이 약 47%이며, 케브라 29는 약 40%로 매듭效率가 가장 낮았다. 특히, 습윤상태에서 케브라 29의 매듭效率는 약 26%로 매우 낮아 건조시에 가장 큰 破斷荷重을 나타낸 것과 대조를 보이고 있다.

破斷伸張率은 만능시험기로부터 구한 값과 변위센서로부터 구한 값 사이에 크게 차이가 있었다. 따라서 이와 같은 차이가 발생하는 원인을 규명하기 위하여 引張試驗과정을 비데오 카메라로 촬영하여 분석한 결과, 인장시험기로서 試料의 伸張率을 측정할 때 클램프 부근에서의 試料의 미소한 슬립과 클램프에 감겨져 있는 그물실의 變形으

로 인하여 실제 그물실의 伸張率보다 크게 나타난 것이 확인되었다. 매듭그물실의 破斷伸張率 역시 인장시험기에서 얻은 값이 변위센서로부터 구한 값보다 크게 나타났다.

要 約

현재 漁具材料로 많이 사용되고 있는 新素材纖維의 引張特性을 파악하기 위하여 케브라 29(kevlar 29)와 테크밀론(techmilon)에 대해서 原絲, 홑실, 그물실의 引張試驗을 행하고, 그 결과를 既存의 合成纖維 중 나일론과 비교·분석하였다. 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 홑실이 引張強度 및 比應力은 新素材纖維가 나일론보다 3~3.5배 높았다. 그러나, 破斷伸張率은 新素材纖維가 나일론의 약 0.15배로 매우 작았다.

2. 홑실의 매듭強度는 테크밀론, 케브라 29, 나일론 순으로 나타났으며, 引張強度에 대한 매듭強度의 比 즉, 매듭效率은 나일론이 가장 좋았다.

3. 그물실의 破斷強度는 新素材纖維가 나일론보다 2.3~2.5배 높게 나타났다.

4. 매듭 그물실의 破斷強度는 테크밀론, 케브라 29, 나일론 순으로 나타났으며, 매듭效率은 나일론이 가장 좋았다.

參考文獻

- 1) Andres Von Brandt and P.J.G. Garrother(1964) : Test Methods for Fishing materials. Modern Fishing Gear of the World II, 9-25.
- 2) EGOR P. POPOV(1990) : Engineering Mechanics of Solids. Prentice-Hall International Editions, 12-22.
- 3) E.M. Odom and D.F. Adams(1992) : Specimen size effect during tensile testing of an unreinforced polymer. Journal of Materials Science 27, 1767-1771.

- 4) FAO(1989) : Factory for unique Dyneema SK 60. Fishing News International, 16-17.
- 5) FAO(1991) : Finding the right fiber. Fishing News International, 36-38.
- 6) G. Klust(1973) : Netting materials for fishing gear. FAO Fishing Manuals, 59-141.
- 7) H. Stutz(1954) : Terminology and count of synthetic fiber twines for fishing purposes. Modern Fishing Gear of the World I, 1-3.
- 8) 高冠瑞·許容虎(1976) : 크리프의 構造가 網絲의 強度變化에 미치는 影響. 釜山水大研報 16(1), 12-16.
- 9) 金景煥·趙顯或(1991) : 纖維試驗法. 螢雪出版社, 91-105.
- 10) 韓國學術振興財團(1991) : 纖維·高分子 測定技術. 棋戰研究社, 203-214.
- 11) 韓國學術振興財團(1991) : 炭素纖維의 應用技術. 大韓教科書株式會社, 183-191.
- 12) 草間秀俊·加藤重遠(1937) : 引張速度가 引張試驗結果에 及ぼす影響. 水産研究報告誌 32, 123-126.
- 13) 本多勝司(1956) : 試料의 長さ가 網絲의 破斷強度及 び 伸び에 及ぼす影響. 日本水産學會誌 22(6), 325-327.
- 14) 本多勝司(1969) : 網絲의 性質. 日本水産學會誌 35(12), 1220-1235.
- 15) 本多勝司(1981) : 漁具材料. 恒星社厚生閣, 59-179.
- 16) 山本勝太郎(1985) : 로프의 結び方と その 強さについて. 日本水産學會誌 51(11), 1755-1760.
- 17) 小山悟郎(1991) : 合成素의 強度と 伸び의 經年變化について. 日本航海學會誌 108, 58-64.
- 18) 田中義久(1991) : 係留材料と 強度. 日本造船學會誌 670, 233-244.