

漁具材料用 新素材纖維의 物性分析

- 2. 新素材纖維의 크리프特性 및 彈性回復度 -

金 泰 浩 · 高 冠 瑞*

國立水産振興院 · 釜山水産大學校*

(1993년 6월 25일 접수)

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

- 2. Creep Characteristics and Elastic Recovery of the High-tech Fibers -

Tae - Ho KIM and Kwan - Soh KO*

National Fisheries Research And Development Agency

National Fisheries University of Pusan*

(Received June 25, 1993)

In order to analysis creep characteristics and elastic recovery of the high-tech fibers for fishing gear materials, creep and elasticity tests were carried out on netting twines made of nylon, kevlar 29 and techmilon respectively. After creep tests, the rupture surface of raw materials was observed by scanning electron microscope(SEM).

The results obtained are as follows :

1. Netting twines were arranged in order of creep rupture time as follows : techmilon, kevlar 29, nylon. The creep progressive pace was the fastest in techmilon.
2. In order of the creep elongating, netting twines were arranged as follows : nylon, techmilon, kevlar 29.
3. The rupture time T_r decreased almost linealy with the increase of applied load L on the log - log scaled graph. The empirical equations computed for kevlar 29 and techmilon are as follows :

$$T_{r \text{ kevlar } 29} = 1.9512 \times 1037L^{-15.773}$$

$$T_{r \text{ techmilon}} = 2.7146 \times 1016L^{-6.831}$$

4. It was observed by SEM that creep was progressed in all netting twines. The difference of rupture morphology was recognized clearly in tensile and creep tests.
5. In order of the elastic recovery, netting twines were arranged as follows : techmilon, kevlar 29, nylon.

緒 論

최근 北洋의 중층트롤망과 로프트트롤망에서 부분적으로 이용되고 있는 新素材纖維인 케브라 29(kevlar 29)와 테크밀론(techmilon)의 여러 가지 物理的인 特性중 특히, 이들 纖維의 引張強度가 既存의 合成纖維의 그것보다 매우 크다 (1993, 金 등).

그러므로 操業中 큰 張力을 받는 트롤과 같은 大型 漁具에 있어 新素材纖維의 導入은 漁具의 曳網速度의 增大와 流水抵抗의 減少를 이룰 수 있으며, 이는 나아가 漁具의 大型化·省力化에도 크게 도움이 된다(1990, 兼廣).

그러나, 漁具는 作業중 다양한 張力을 계속적으로 받기 때문에 그것을 구성하는 그물감이나 로프는 素材纖維에 작용하는 張力이 破斷應力 이내의 張力일지라도 그것을 장시간 받으면 결국에는 破斷되는 크리프(creep)현상이 발생한다.

한편, 漁具材料의 크리프特性은 漁具와 각종 漁業用 로프의 耐久性 및 安全性에 있어서 매우 중요한 요소임에도 불구하고 현재 이 분야의 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 케브라 29 및 테크밀론 그물실에 대하여 크리프試驗을 행하여 漁具材料用 新素材纖維의 크리프特性을 파악하였고, 또한 彈性試驗도 함께 행하여 彈性回復를 구하였으며, 그 결과들을 나일론의 것과 비교하였다.

材料 및 方法

1. 크리프試驗

(1) 試料 및 試驗片

試驗에 사용한 試料는 Table 1과 같고, 試驗片

은 Fig. 1에서와 같이 그물실 양단에 아이스플라이스를 하여 에폭시수지로 도장하였으며, 強度補強과 摩耗防止를 위하여 홈의 폭이 2mm인 코스(heart course)를 고리 부분에 끼워 크리프시험기의 도래에 걸 수 있도록 제작하였다.

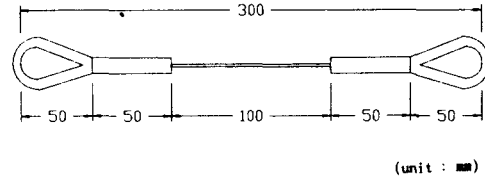


Fig. 1. Testing specimen for creep test.

(2) 實驗裝置

실험장치는 一定荷重式 크리프시험기로서, 크게 荷重裝置와 變形率測定裝置의 두 부분으로 구성되어 있다(Fig. 1). 荷重裝置는 지렛대의 원리를 이용하여 제작하였으며, 지렛대 비(level ratio)는 1:10이고, 재질은 $\phi 30$ 인 강철봉이었다.

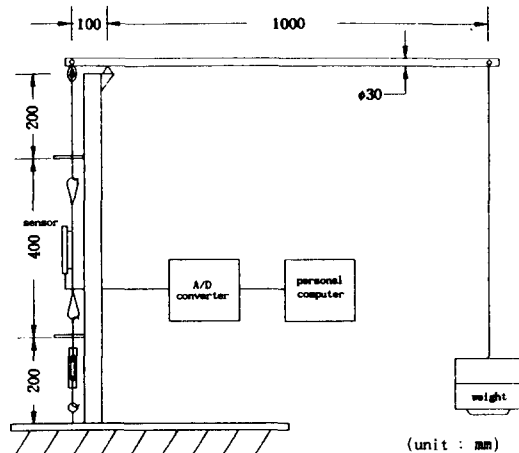


Fig. 2. Apparatus for creep test of netting twines.

Table 1. Specification of test materials used in creep test

materials	diameter(mm)	breaking load(kg)	elongation(%)
nylon	1.8	106.44	27.94
kevlar 29	1.6	253.29	3.28
techmilon	1.6	244.03	4.42

時間의 變化에 따른 變形量은 試料에 부착된 변위 센서(LQ-50F)와 A/D변환기를 통해 컴퓨터에 입력시켜 구하였다.

(3) 方法

실험에서는 크립시험기에 수직으로 건 試驗片에 前加張力을 가한 후 각 그물실의 破斷荷重의 50~95% 되는 靜荷重이 試料에 미치도록 지렛대에 추를 걸어놓고 그물실이 과단될 때 까지의 時間과 變形率을 측정하였으며, 측정온도는 24±2℃였고, 시험횟수는 3회 였다.

荷重變化에 따른 試料의 初期變形率, 크립變形率 및 破斷時間을 측정하였으며, 이 때 初期變形率은 荷重을 가하고 1분이 경과되었을 때의 變形率로 하였다. 또한, 最小自乘法을 이용하여 크립에 의한 그물실의 破斷壽命을 예측하였다. 그리고, 시험을 행한 후 原絲의 破面을 주사형 전자현미경(SEM, JEOL JSM 35-CF)으로 촬영하여 破斷樣相을 引張試驗의 것과 비교하였다.

2. 彈性試驗

彈性試驗에 이용한 試驗片 및 실험장치는 크립試驗의 경우와 동일하다.

또한, 실험방법은 크립試驗에서와 같이 破斷荷重의 50% 되는 靜荷重을 10분간 가했을 때의 신장된 길이와 荷重을 제거하여 15분간 방치한 후 회복

된 길이를 측정하여 그물실의 彈性回復度 및 永久變形率을 측정하였으며, 측정횟수는 5회 였다.

結果 및 考察

1. 크립特性

(1) 荷重과 크립 破斷時間과의 관계

크립試驗에서 나일론, 케브라 29 및 테크밀론 그물실에 대한 作用荷重別 破斷時間, 初期變形率 및 크립變形率을 측정한 결과는 Table 2와 같고, 破斷時間에 대한 變形率의 크립曲線은 Fig. 3, 4, 5와 같다. 또한, 作用荷重에 대한 初期變形率은 Fig. 6과 같다.

Table 2에서 보면 나일론과 케브라 29는 荷重이 증가함에 따라 初期變形率과 크립變形率이 함께 증가하고 있으나, 테크밀론의 경우 初期變形率은 크게 감소하는 경향을 나타내고 있다.

또한, 荷重이 증가함에 따라 破斷時間이 감소하고 있으며, 크립 破斷時間은 테크밀론, 케브라 29, 나일론 순으로 짧았다. 즉, 크립試驗의 결과에 의하면 耐久性면에서는 나일론이 케브라 29와 테크밀론 그물실보다 우수하다고 할 수 있으나, 실제 漁業用 로프나 그물실 및 양식장의 계류삭으로 사용된 경우, 나일론의 耐久性이 다른 그물실보다 크다고는 알려져 있지 않다. 이와 같은

Table 2. Creep characteristics of netting twines

materials	applied load (kg)	L/P* (%)	rupture time (hr)	initial strain (%)	final strain (%)	creep strain (%)
nylon	95.80	90	190.17	14.73	19.05	4.32
	101.12	95	5.00	17.01	20.67	3.66
kevlar 29	177.30	70	42.17	1.27	1.33	0.06
	189.97	75	26.16	1.31	1.38	0.07
	202.63	80	12.34	1.36	1.43	0.07
	227.96	90	1.06	1.55	1.66	0.11
techmilon	122.02	50	143.12	0.71	15.62	14.91
	146.42	60	45.12	1.01	10.68	9.67
	170.82	70	16.22	1.22	8.90	7.67
	195.22	80	5.73	1.77	7.44	5.67

* L/P indicates a ratio of applied load to breaking load.

이유는 크리프特性만으로는 漁具의 耐久性을 평가할 수 없으며, 動的 疲勞, 耐候性, 耐水性 등과 같은 크리프 이외의 因子가 실제 그물실의 耐久性에 큰 영향을 미치기 때문이다(下崎, 1990). 따라서, 漁具材料로서 新素材纖維의 耐久性을 파악하기 위해서는 動的 疲勞, 耐候性 등과 같은 분야의

연구가 병행되어야 한다고 생각된다.

한편, 일반적인 材料의 크리프曲線 형태는 遷移 크리프(transient creep), 定常크리프(steady state creep) 및 加速크리프(acceleration creep)와 같은 3단계의 크리프로 구성되는 역 S 자형 曲線이 대부분을 이루고 있다(Guimaraes

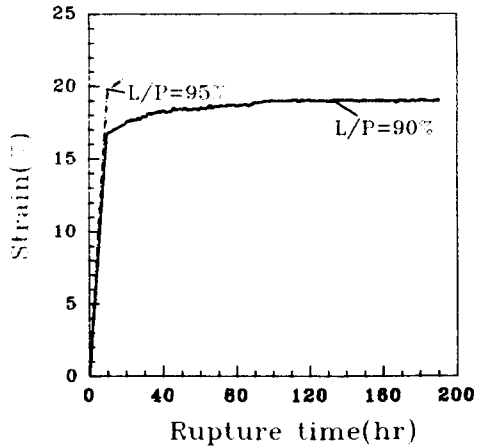


Fig. 3. Creep curves of nylon netting twine at variable load.
L/P indicates a ratio of applied load to breaking load.

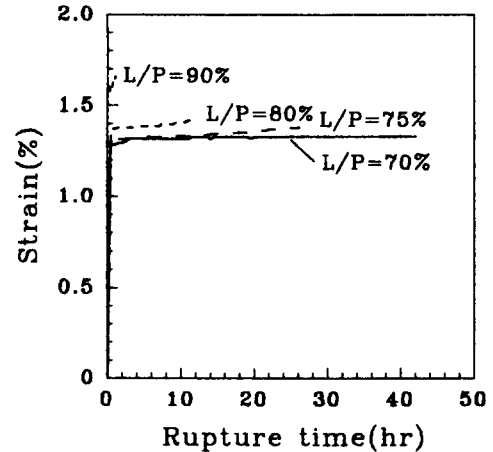


Fig. 4. Creep curves of kevlar 29 netting twine at variable load.
L/P indicates a ratio of applied load to breaking load.

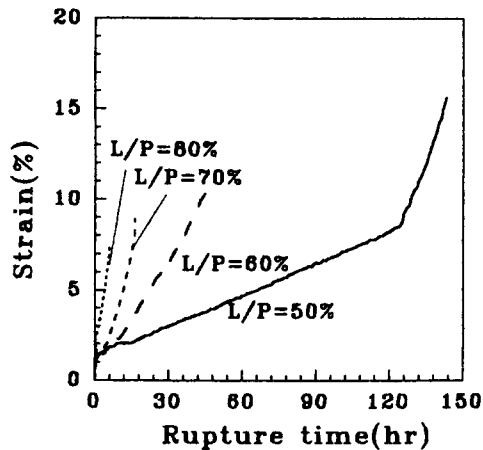


Fig. 5. Creep curves of techmilon netting twine at variable load.
L/P indicates a ratio of applied load to breaking load.

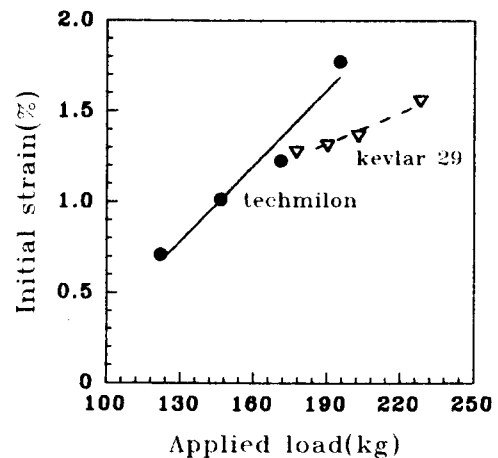


Fig. 6. Relationship of initial strain to applied load.

et al., 1992; Chambers et al., 1990). 그러나, 실험대상의 나일론과 케브라 29의 경우 (Fig. 3, 4), 이와 같은 곡선과 전혀 다른 곡선이 나타났다. 즉, 두 試料 모두 荷重을 가했을 때 初期變形이 이루어진 후 파단시까지 定常크리프 단계가 길었고, 加速크리프단계는 거의 나타나지 않았다. 이들 곡선에 비하여 테크밀론의 경우 (Fig. 5), 定常크리프와 加速크리프 단계가 명확히 구분되는 보다 전형적인 크리프곡선이 나타났다.

(2) 破斷伸張率과 크리프伸張率의 비교

그물살의 破斷伸長率과 作用荷重別 크리프伸長率을 비교해 보면 Fig. 7과 같다. 이것에서 보면 나일론 및 케브라 29의 크리프伸長率은 引張試驗에서의 破斷伸長率보다 작지만, 테크밀론에서는 오히려 크리프伸長率이 훨씬 컸다. 크리프伸長率의 크기는 나일론, 테크밀론, 케브라 29의 순으로 나타났고, 나일론과 테크밀론 그물살의 경우 破斷荷重에 대한 作用荷重에 비 즉, L/P 가 증가함에 따라 伸長率이 감소하는 경향을 나타내었지만, 케브라 29는 오히려 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

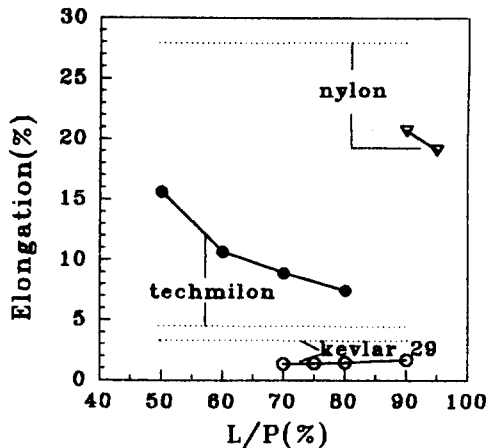


Fig. 7. Comparison of breaking elongation and creep elongation in netting twines. Dotted line indicates breaking elongation and solid line does creep elongation.

(3) 荷重과 破斷壽命과의 관계

荷重을 받고 있는 대부분의 材料에서 크리프 破斷壽命 T_r 과 作用荷重 L 과의 사이에는 다음의 관계가 있다 (Bailey, 1929).

$$T_r = KL^n$$

여기서 K : 材料常數, n : 破壞荷重指數

이 관계식에서 실험에 의한 크리프 破斷壽命을 측정하여 破壞荷重指數 n 과 材料常數 K 를 구하면 크리프 破斷壽命식을 얻을 수 있다.

케브라 29 및 테크밀론 그물살에 대하여 $\log L$ 과 $\log T_r$ 과의 相關關係를 구한 결과는 Fig. 8과 같다. 이것에서 보면 $\log T_r$ 은 $\log L$ 이 증가함에 따라 거의 直線的으로 감소하며, 이들 사이에는

$$T_{r \text{ kevlar 29}} = 1.9512 \times 1037L^{-15.773}$$

$$T_{r \text{ techmilon}} = 2.7146 \times 1016L^{-6.831}$$

의 실험식을 얻었다.

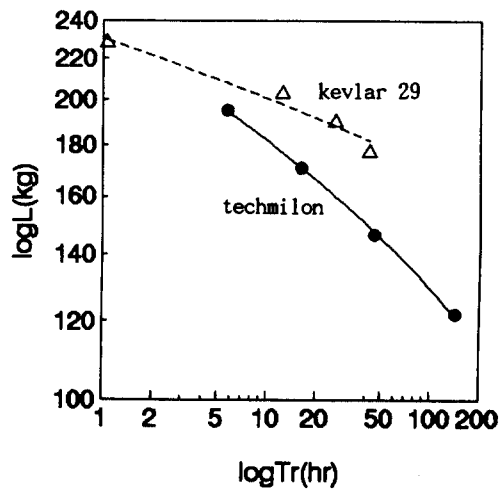


Fig. 8. Relationship of strain to rupture time.

(4) 破面解析

引張 및 크리프試驗을 행한 후 그물살내 原絲의 破面을 1000배 확대 촬영한 전자현미경 사진은 각각 Photo. 1, 2, 3과 같다.

Photo. 1은 引張試驗을 행한 原絲의 破面으로,

전형적인 引張試驗의 破面을 나타내고 있다. 즉, 纖維의 가로방향으로 발생된 龜裂(crack)의 전파로 인하여 破面의 형상이 V-notch를 이루고 있으며, 이는 Hearle *et al.*(1970)의 보고와도 잘 일치한다. 또한, 파단되는 순간 原絲가 찢겨진 것과 같이 破面이 凹凸형상을 이루고 있으며, 특히 이와 같은 형상은 케브라 29에 잘 나타나 있다.

이것에 비하여 매듭그물실의 경우 매듭에서의 순간적인 破斷으로 인하여 세 試料의 破面이 모두

비교적 균일하였다(Photo. 2).

Photo. 3에서 (a)는 破斷荷重의 95% 되는 荷重을 가했을 때 5시간만에 크리프파단된 나일론 그물실의 破面, (b)는 70% 되는 荷重을 가했을 때 42시간만에 파단된 케브라 29의 破面, (c)는 60% 되는 荷重을 가했을 때 48시간만에 파단된 테크밀론의 破面을 나타낸 것이다.

Photo. 3에서 보면 破斷의 원인은 纖維 내부의 미소결합에서 발생하는 龜裂과 그물실에 지속적



Photo. 1. SEM micrographs of the rupture surface of unknotted netting twines in tensile test.
(a) nylon (b) kevlar 29 (c) techmilon

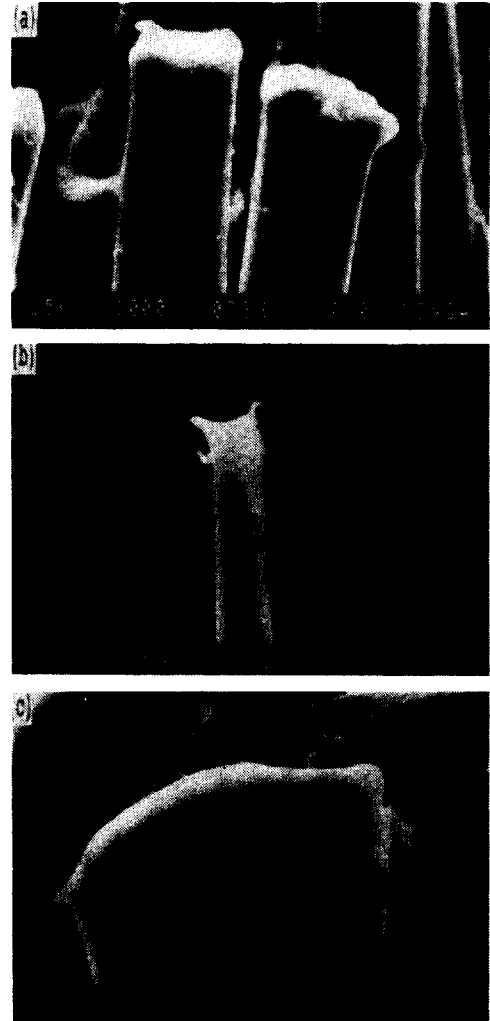


Photo. 2. SEM micrographs of the rupture surface of knotted netting twines in tensile test.
(a) nylon (b) kevlar 29 (c) techmilon

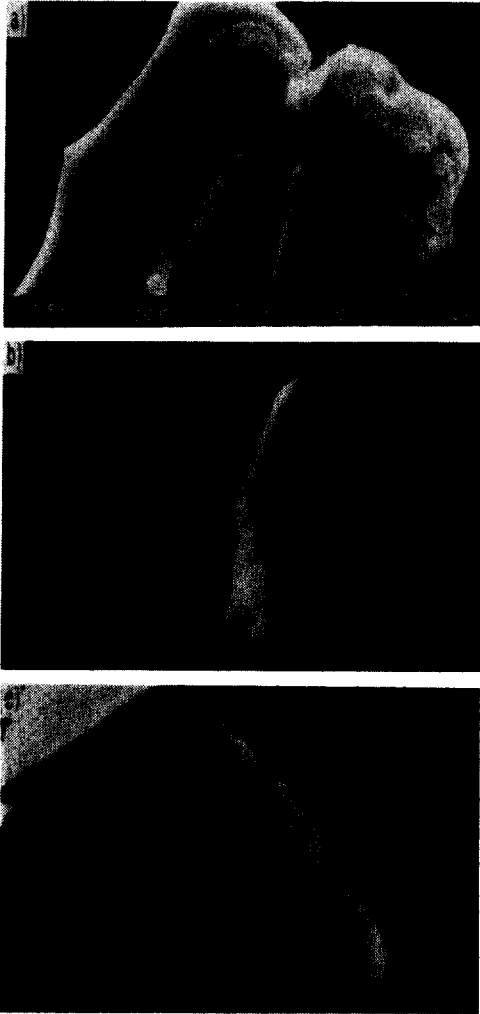


Photo. 3. SEM micrographs of the rupture surface of the netting twines in creep test.
(a) nylon (b) kevlar 29 (c) techmilon

으로 작용하는 靜荷重의 影響으로 보인다. 즉, 原絲기리 마찰되면서 發生되는 發熱作用으로 破面의 일부분이 녹아 있는 것처럼 보이며, 또한 길게 늘어나 있다.

2. 彈性回復度

건조상태의 나일론, 케브라 29 및 테크밀론 그물실에 대한 彈性回復度(elastic recovery)는 Table 3과 같고, 彈性回復曲線(elastic recovery curve)은 Fig. 9와 같다.

Table 3에서 보면 나일론 그물실의 경우 荷重이 가해지는 순간 初期變形率(initial strain)은 13.87%, 10분동안의 크리프變形率은 0.57%이며, 全變形率은 14.44%였다. 荷重을 제거하는 순간 初期變形率의 79%가 회복되고, 시간이 경과되면서 크리프回復이 이루어져 全變形率(total strain)의 84%가 회복되었다. 즉, 나일론 그물실의 彈性回復도는 全變形率의 84%였고, 永久變形率(permanet strain)은 16%로 나타났다.

이것에 비하여, 케브라 29의 初期變形率은 0.89%, 크리프變形率은 0.15%이며, 全變形率은 1.04%였다. 또한, 初期變形率에 대한 瞬間回復度(immediately recovery)는 96%로 매우 크게 나타났으나, 크리프回復(creep recovery)이 거의 이루어지지 않아 彈性回復도는 결국 87%, 永久變形率은 13%로 나타났다.

또한, 테크밀론의 경우 初期變形率이 0.71%로 매우 작았으나, 시간이 경과되면서 크리프變形이 활발히 진행되어 全變形率은 1.09%가 되었다. 한편, 初期變形率에 대한 瞬間回復도는 134%로서

Table 3. Elastic recovery of netting twines in dry condition

materials	strain(%)			recovery(%)				
	ϵ_i^*	ϵ_c	$\epsilon_i + \epsilon_c$	ϵ_{ir}^{**}	ϵ_r	$\epsilon_{ir} + \epsilon_r$	$\frac{\epsilon_{ir}}{\epsilon_i}$	$\frac{\epsilon_{ir} + \epsilon_r}{\epsilon_i + \epsilon_c}$
nylon	13.87	0.57	14.44	10.93	1.19	12.12	0.79	0.84
kevlar 29	0.89	0.15	1.04	0.85	0.40	0.90	0.96	0.87
techmilon	0.71	0.38	1.09	0.95	0.50	1.00	1.34	0.92

* ϵ_i indicates initial strain and ϵ_c does creep strain.

** ϵ_{ir} indicates immediatery recovery and ϵ_r does creep recovery.

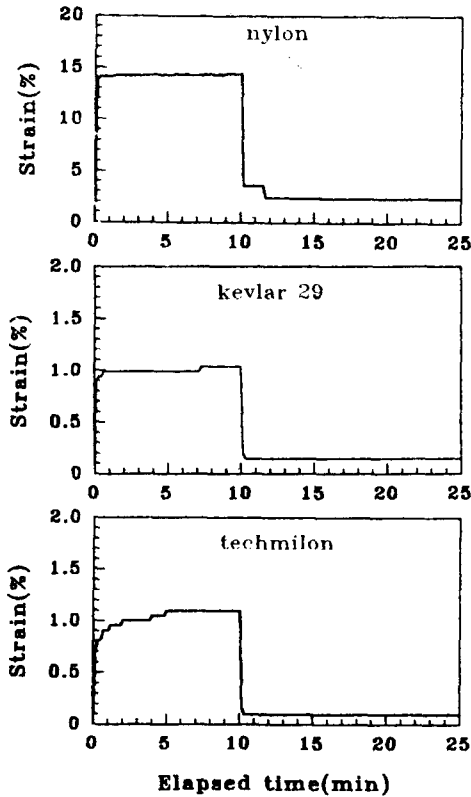


Fig. 9. Elastic recovery curves of netting twines.

세 試料 가운데 가장 컸다. 이것은 이 그물실이 荷重을 받을 때 순간적으로 일어나는 變形은 작지만, 荷重을 제거했을 때 즉시 회복되는 성질이 매우 우수하다는 것을 나타내어 주고 있다. 한편, 시간이 경과되면서 크리프回復은 거의 이루어지지 않았지만 彈性回復도는 92%로 세 試料 중에서 가장 우수하였다.

要 約

최근 北洋의 중충트롤 및 로프트트롤망에서 부분적으로 사용되고 있는 新素材纖維인 케브라 29(kevlar 29)와 테크밀론(techmilon)으로 제작한 그물실의 크리프特性 및 彈性回復도를 파악하기 위하여 크리프 및 彈性試驗을 행하고, 그 결과

들을 나일론의 것과 비교하였다. 또한, 주사형 전자현미경을 이용하여 크리프試驗에서 破斷된 素材纖維의 破面과 引張試驗에서의 破面을 비교· 관찰하였다. 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 그물실의 크리프 破斷時間은 테크밀론, 케브라 29, 나일론의 순으로 짧게 나타났으며, 특히 크리프 進行速度는 테크밀론에서 가장 컸다.

2. 크리프 伸張率의 크기는 나일론, 테크밀론, 케브라 29의 순으로 나타났다.

3. 荷重增加에 따른 그물실의 破斷壽命은 兩代數 그래프에서 거의 直線의으로 감소하였으며, 케브라 29와 테크밀론 그물실에 대한 破斷壽命 T_r 과 作用荷重 L 과의 사이에는

$$T_{r \text{ kevlar 29}} = 1.9512 \times 1037L^{-15.773}$$

$$T_{r \text{ techmilon}} = 2.7146 \times 1016L^{-6.831}$$

이다.

4. 전자현미경사진의 분석결과, 세 纖維에서 모두 크리프의 진행이 확인되었으며, 引張試驗과 크리프試驗에서의 破面은 큰 차이가 있었다.

5. 彈性回復도는 테크밀론 그물실이 가장 좋았으며, 케브라 29, 나일론의 순으로 나타났다.

參考文獻

- 1) B. Dessian, O. Moulart and R. Keunings(1992) : Solid phase change controlling the tensile and creep behaviour of gel-spun high-modulus polyethylene fibers. Journal of Materials Science 27, 4515-4522.
- 2) B. J. Physher and R. E. Tressler(1992) : Creep rupture studies of two aluminum-based ceramic fibers. Journal of Materials Science 27, 423-428.
- 3) G. B. Guimaraes and C. J. Burgoyne (1992) : Creep behaviour of a parallel-lay aramid rope. Journal of Materials Science 27, 2473-2489.

- 4) H. Yasuda(1932) : On the elastic time-effect of netting cords. Journal of the Imperial Fisheries Institute 7(3), 155-162.
- 5) J. J. Chambers and C. J. Burgoyne (1990) : The fractography of thermoplastic textile fibers. Journal of Materials Science 25, 507-516.
- 6) M. G. Dobb and R. M. Robson(1990) : Structural characteristics of aramid fiber Variant. Journal of Materials Science 25, 457-464.
- 7) J. W. S. Hearle and P. M. Cross(1970) : The fractography of thermoplastic textile fibers. Journal of Materials Science 5, 507-516.
- 8) M. Tauti(1927) : Relation between the load and the elongation of netting cords. Journal of the Imperial Fisheries institue 23(3), 120-130.
- 9) R. W. Bailey(1929) : Creep of steel under simple and compound stresses and the use of High Initial Temperature in Steam Power Plant. World Power conference 3, 1089.
- 10) 金泰浩・高冠瑞(1993) : 漁具材料用 新素材繊維の 物性分析-1. 新素材繊維の 引張強度. 韓國漁業技術學會誌 29(2), 117-123.
- 11) 本多勝司(1965) : 網絲の静荷重による疲労. 日本水産學會志 31(1), 8-17.
- 12) 谷田一衛(1979) : 網絲の粘弾性に關する研究. 東京水大研究報告 66(1), 77-85.
- 13) 兼廣春之(1990) : 漁業と機能性纖維. 水産のバイテクとハイテク(陸島史夫編). 成山當書店, 208-239.
- 14) 下崎吉矩(1990) : 漁業用ロプのクリープについて. 水産工學研究報告 51(11), 1755-1760.
- 15) 日本材料學會(1991) : 破壊と材料. 裳華房, 146-153.