

<연구논문(기술)>

산업용 폴리케톤 섬유 코팅 가공에 따른 기계적 물성에 관한 연구

김상룡[†] · 전재우 · 광동섭 · 이 원¹ · 이득진¹ · 황순동¹ · 도성준²

DYETEC연구원, ¹(주)효성, ²한국생산기술연구원

Study on the Mechanical Properties of Polyketone Fiber according to Coating Process for Technical Textile

Sang Yong Kim[†], Jae Woo Jeon, Dong Sub Kwak, Won Lee¹, Deuk Jin Lee¹,
Sun Dong Whang¹ and Sung Jun Do²

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

¹HYOSUNG Corp., Anyang, Korea

²Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, Korea

(Received: November 09, 2015 / Revised: November 25, 2015 / Accepted: December 02, 2015)

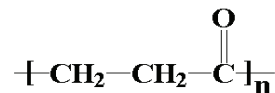
Abstract: Polyketone fiber, a newly developed high strength fiber, has a tenacity and modulus similar to the p-aramid fiber, and can be used for reinforcing mechanical rubber goods(MRG), such as tires, hoses, and technical textiles. In addition, aliphatic polyketone, which has excellent strength, modulus, chemical stability and reasonable price, is being developed only in South Korea. It will be expected for replacement of super fiber such as aramids and increasing the technical textile market share. This paper surveys the mechanical properties of polyketone fiber yarn for technical textiles. For this purpose, two kinds of yarns are prepared, mechanical properties of coated and uncoated polyketone yarns such as tensile strength, elongation and modulus were examined before and after weather resistance test(temperature 60°C, humidity 60%, amount of power 0.67w/m²). The differences of mechanical properties between uncoated and coated yarns for high functional technical textiles and composite materials are estimated through this study.

Keywords: polyketone fiber, coated yarn, UV stability, MRG(mechanical rubber goods), mechanical property, fastness

1. 서 론

최근 개발하고 있는 폴리케톤(polyketone) 소재는 일산화탄소와 올레핀(에틸렌, 프로필렌)으로 이루어진 고분자 신소재로, 엔지니어링 플라스틱으로 사용되는 terpolymer는 일산화탄소+에틸렌+프로필렌으로 이루어지며, 섬유소재로 사용되는 copolymer는 일산화탄소+에틸렌으로 이루어져 고강도 섬유 소재로 사용될 수 있다¹⁻³⁾. 이러한 폴리케톤 소재는 대기 오염의 주범인 일산화탄소를 소재로 사용하며, 폴리

케톤 소재 1톤 생산시 일산화탄소 0.5톤이 사용됨으로서 이는 연간 5만톤의 폴리케톤을 생산하면 소나무 380만 그루를 심는 효과가 있는 환경 친화적인 신소재이다(Scheme 1).



Scheme 1. Polyketone fiber chemical structure

고강도, 고탄성률, 내화학성이 우수한 것으로 알려져 있는 지방족 폴리케톤(aliphatic polyketone) 섬유는 현재 전세계 유일하게 대한민국에서 개발이 되고 있는 섬유로서 기존 슈퍼섬유 소재 대비 저렴한

[†]Corresponding author: Sang Yong Kim (ssarou@dyetec.or.kr)
© 2015 The Korean Society of Dyers and Finishers.
All rights reserved. TCF 27-4/2015-12/334-339

생산 단가로 인해 아라미드 등의 상품화 되어 있는 슈퍼섬유소재 및 산업용 섬유 시장을 대체할 수 있을 것으로 예상되어 지고 있다⁴⁾. 용접 또한 국내 타이어 코드 및 다양한 응용 분야⁵⁾에 주로 사용되고 있는 poly(ethylene terephthalate)(PET), Nylon66와 비슷하여 이를 대체하기 위한 연구 활동이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 내화학적인 성질이 우수한 반면 자외선에 대하여 취약한 성질을 가지고 있어 산업용 및 섬유 소재로 사용하기 위해선 기능성 부여 가공 공정을 통한 소재의 단점을 보완하는 다양한 연구⁶⁾ 및 특성에 대한 고찰이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 (주)효성에서 생산된 폴리케톤 원사를 이용하여 폴리케톤 소재의 내후성 시험 후 기계적 물성을 비교·분석하고, 폴리케톤 소재의 컬러, UV 취약점, 견뢰도 등의 단점을 보완하기 위해 폴리케톤 원사 코팅 가공 후 소재의 기계적 물성을 비교·분석^{7,9)}하고자 한다.

UV 안정을 위해 진행되는 원사가공 공정에 대해 소재 물성 data base화 및 원사 가공조건을 도출하고 나아가 원사 소재의 단점을 보완하고, 다양한 용도에 적용 가능한 기능성을 발현하는 산업용 폴리케톤 소재 개발에 도움을 주고자 한다.

2. 실험

2.1 시료

Table 1은 본 연구에서 사용된 폴리케톤 원사 시료를 보이고 있다.

Table 1. Specimens of polyketone yarns

No.	Material	Strength	Elongation
1	Poly Ketone 860D	11.85g/d	5.95%
2	Poly Ketone 1030D	17.1g/d	5.7%



Figure 1. Weather resistance test(Xenon Arc Weather-Ometer Ci5000).

No. 1 시료의 경우 lab. spinning machine에서 생산된 폴리케톤 원사이며, No. 2의 경우 pilot spinning machine에서 생산된 폴리케톤 원사 소재이다.

2.2 실험방법

폴리케톤 원사의 내후성 시험은 Table 1의 No. 1 시료를 이용하여 Figure 1의 내후성 시험기(Xenon Arc Weather-Ometer Ci5000)를 사용하여 온도 60℃, 습도 60%에서 0.67w/m²의 전력량으로 7일간 처리해 주는 방식으로 진행했으며, 처리 후 KS K 0412에 근거하여 원사 기계적 물성을 측정하였다.

폴리케톤 소재의 컬러, UV 취약점, 견뢰도 등의 단점을 보완하기 위해 Table 1의 No. 2 시료를 이용하여 원사 코팅 압출기(Figure 2)를 통해 Table 2의 조건으로 폴리케톤 원사 코팅 가공연구를 진행하였다.

폴리케톤 원사 코팅 agent는 일광견뢰도 증진 목적으로 현재 생활용 blind 제품 및 신발용 원사 코팅제로 사용되고 있는 PVC 코팅제를 사용하여 코팅 가공을 진행하였다¹⁰⁾. 코팅사 가공 공정을 통해 중량 값 0.320g/m의 코팅사 600m 길이의 약 2880D의 폴리케톤 코팅사를 시생산 하였다. 폴리케톤 섬유 원사의 물성 측정은 표준규격 KS K 0412에 근거하여 만능인장 시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 사용하여 원사 기계적 물성을 측정하였다.

Table 2. Coating process conditions

Temperature(℃)	Speed(mpm)	Weight(g/m)
150~160℃	500	0.320

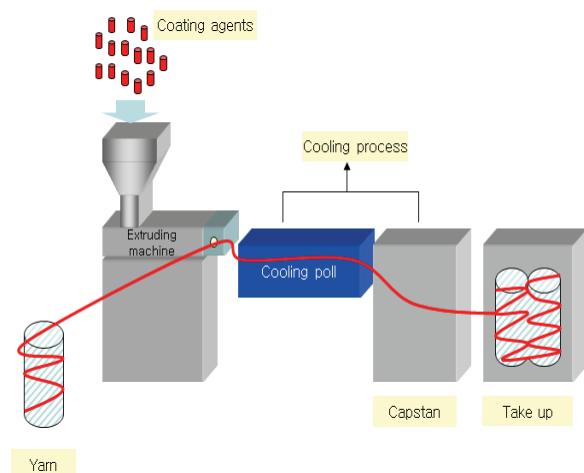


Figure 2. Yarn coating process.

3. 결과 및 고찰

3.1 폴리케톤 섬유 내후성 시험

폴리케톤 섬유의 내후성 시험을 위해 Table 1의 No. 1 시료를 1, 2, 3, 7일 간격으로 샘플링을 했고, 인장시험기를 사용하여 5회 이상 인장시험을 했으며, 이 때 꼬임에 대한 효과를 고찰하기 위해 가연기를 사용하여 8회 꼬임을 한 것과 비교하여 보았다.

Table 3은 폴리케톤 섬유의 내후성 처리 전후의 기계적 물성 값을 나타내었다. 내후성 처리 전 폴리케톤 원사의 기계적 물성 값을 살펴보면, 8회 꼬임을 준 twist 사의 인장강도 값은 꼬임 전 bundle 사에 비해 약 1g/d, 인장신도는 0.41% 증가하였다. 이는 lab. spinning에서 생산된 폴리케톤 미연신사에 꼬임을 가하면서 인장강신도가 소폭 증가하는 것으로 사료되어 진다.

Figure 3은 내후성 시험에 대한 폴리케톤 원사의 인장특성 비교 그래프를 나타내었다. 초기 강도와 비교해 보았을 때, 꼬임을 주지 않은 원사는 1일간 처리 후 약 50%의 강도 저하가 일어났고 7일간 처리 후에는 약 15%의 강도만 유지하는 결과를 나타냈다. 꼬임을 준 원사 역시 시간이 지남에 따라 계속적으로 강도 저하가 일어났고 7일간 처리 후에는 약 18%의 강도를 유지 하는 것으로 보아 폴리케톤 원사는 UV에 상당히 취약한 것으로 판단할 수 있다.

신도 또한 처리 시간이 지남에 따라 두 샘플 모두 강도의 저하와 함께 점차적으로 감소하였으며 7일간 처리 후에는 초기대비 약 30%의 신도를 나타내었다.

현재 개발 중인 폴리케톤 원사는 비록 UV차단제 등의 첨가제 처리가 되지 않은 원사로서 향후 이러한

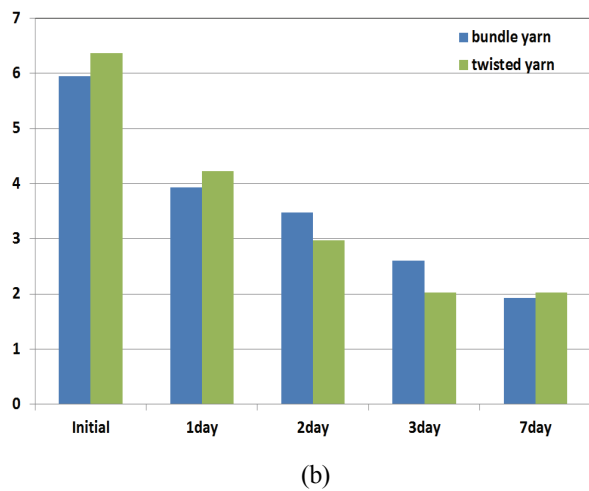
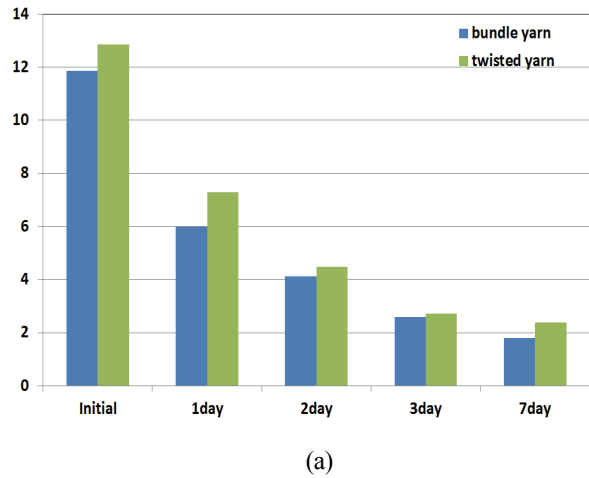


Figure 3. Tensile properties of polyketone yarns before and after weather resistance test.
 (a) Tensile strength of polyketone yarns before and after weather resistance test
 (b) Elongation of polyketone yarns before and after weather resistance test

Table 3. Tensile properties of polyketone yarns before and after weather resistance test

		Initial	1day	2day	3day	7day
Tenacity (g/d)	bundle	11.85 (100%)	5.98 (50.46%)	4.13 (34.85%)	2.60 (21.94%)	1.79 (15.11%)
	twisted	12.87 (100%)	7.28 (56.57%)	4.47 (34.73%)	2.72 (21.13%)	2.38 (18.49%)
Elongation (%)	bundle	5.95 (100%)	3.93 (66.05%)	3.48 (58.49%)	2.61 (43.87%)	1.93 (32.44%)
	twisted	6.36 (100%)	4.23 (66.51%)	2.97 (46.70%)	2.03 (31.92%)	2.03 (31.92%)

첨가제에 의한 가공공정이 추가될 경우 이러한 취약성은 상당부분 개선될 것으로 예상되나, 케톤 분자구조 자체의 UV 취약성 부분을 완벽하게 보완할 수는 없을 것이므로, 타이어코드가 아닌 MRG (mechanical rubber goods) 소재 외 산업용 섬유 소재로서의 폴리케톤 원사 개발에 있어서 이러한 보완책에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2 폴리케톤 섬유 코팅사의 내후성 시험

폴리케톤 소재의 컬러, UV 취약점, 견뢰도 등의 단점을 보완하기 위해 Table 1의 No. 2 폴리케톤 원사 샘플을 이용하여 코팅 가공연구를 진행하였다. 실험에 사용된 코팅제는 현재 고일광견뢰도를 요구하는 생활용, 신발용 섬유제품에 사용되고 있는 PVC 코팅제를 사용하여 시생산 하였다(Figure 4).

Table 4는 폴리케톤 섬유의 코팅후 내후성 처리 전후의 기계적 물성 값을 나타낸다.

폴리케톤 원사 코팅 가공 후 내후성 테스트 전후의 인장강도 비교 데이터를 Figure 5의 (a)에 나타내고 있다. 폴리케톤 섬유의 경우 원사 코팅 가공 후 약 1.62g/d 인장강도 값이 감소하였으나, 내후성 테스트 7일 후에는 코팅가공 전의 시료와 달리 인장강도가 크게 감소하지 않으며, 약 89% 인장강도를 유지하는 것으로 나타났다.

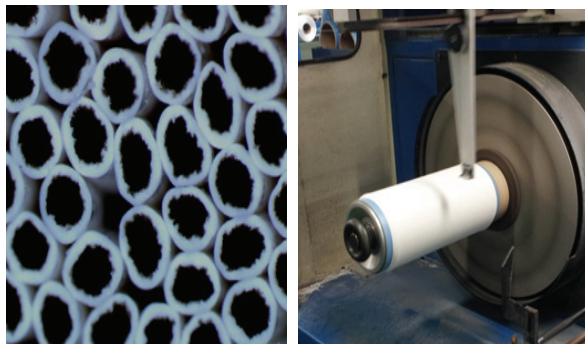
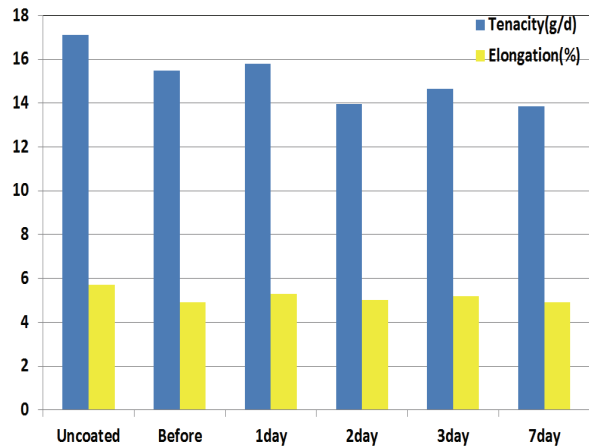
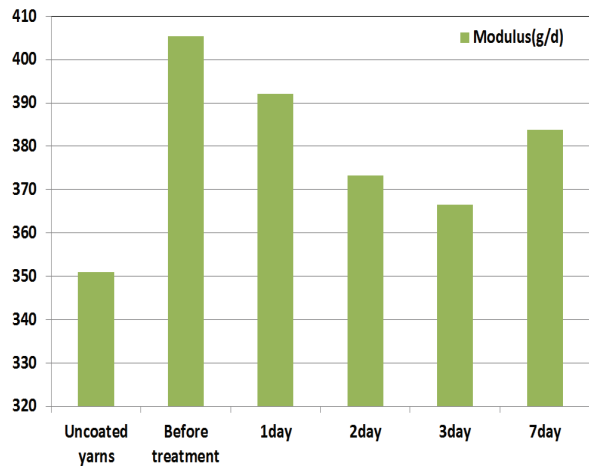


Figure 4. Polyketone coating yarns and cross section.



(a)



(b)

Figure 5. Tensile properties of coated and uncoated polyketone yarns before and after weather resistance test.

(a) Tensile strength and elongation of coated and uncoated polyketone yarns before and after weather resistance test

(b) Modulus of coated and uncoated polyketone yarns before and after weather resistance test

Table 4. Tensile properties of coated and uncoated polyketone yarns before and after weather resistance test

	Uncoated yarns	Before treatment	1day	2day	3day	7day
Tenacity(g/d)	17.1	15.48	15.79	13.94	14.64	13.86
Elongation(%)	5.7	4.9	5.3	5	5.2	4.9
Modulus(g/d)	351	405.3	392	373.2	366.5	383.7

폴리케톤 원사 코팅 가공 후 내후성 테스트 전후의 elongation 비교 데이터를 Figure 5의 (a)에 나타내고 있다. 실험 결과 폴리케톤 섬유의 경우 원사 코팅 가공 후, 내후성 테스트 후에도 코팅 전 폴리케톤 섬유 소재 elongation 물성의 약 85% 이상의 물성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 폴리케톤 섬유의 원사 코팅 공정 후에도 원사의 elongation 물성에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 사료 되어진다.

폴리케톤 원사 코팅 가공 후 내후성 테스트 전후의 modulus 비교 데이터를 Figure 5의 (b)에 나타내고 있다. 실험 결과 폴리케톤 섬유의 경우 원사 코팅 가공 후 폴리케톤 섬유 소재 modulus 물성은 50g/d 이상 증가하는 것으로 나타났으며, 내후성 테스트 후에도 코팅 전 원사 물성보다 높은 modulus 값을 나타냈다. 이는 원사 표면의 코팅제로 인해 인장에 대한 탄성계수가 높아진 것으로 사료되어진다. 내후성 테스트 7일 후에는 3일 처리했을 때 비해 탄성계수가 약 17.2g/d 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 이는 내후성, 특히 UV 조사를 하는 경우에 원사는 일반적으로 기계적 물성이 취화되는 경우가 많은데, 본 실험의 경우 코팅사에 대한 UV 조사를 진행하였기 때문에 코팅한 물질이 어느 정도 시간이 지남으로서 UV 경화가 발생하여 탄성계수가 일시적으로 증가한 것으로 사료 되어진다.

4. 결 론

본 연구에서는 슈퍼섬유소재 및 산업용 섬유 시장을 대체하기 위해 개발 중인 폴리케톤 섬유의 산업용 섬유 소재 용도적용을 위해 (주)효성에서 생산된 폴리케톤 원사를 이용하여 폴리케톤 소재의 내후성 시험 후 기계적 물성을 비교·분석하고, 폴리케톤 소재의 컬러, UV 취약점, 견뢰도 등의 단점을 보완하기 위해 폴리케톤 원사 코팅 가공 후 소재의 기계적 물성을 비교·분석하였다.

1. 폴리케톤 원사 내후성 테스트 후 인장강도 및 인장신도 실험 결과, 꼬임을 주지 않은 원사는 1일간 내후성 처리 후 약 50%의 강도 저하가 일어났고, 7일간 내후성 처리 후에는 약 15%의 강도만 유지하는 결과를 나타냈다. 꼬임을 준 원사 역시 시간이 지남에 따라 계속적으로 강도 저하가 일어났고, 7일간 내후성 처리 후에는 약 18%의 강도를 유지 하는 것으로 보아 폴리케톤 원사는 UV에 상당히 취약한 것으로 나타났다.
2. 산업용 폴리케톤 소재의 컬러, UV 취약점, 견뢰

도 등의 단점을 보완하기 위해 현재 고일광견뢰도를 요구하는 생활용, 신발용 섬유제품에 사용되고 있는 PVC 코팅제를 사용하여 사코팅 압출기를 통해 150~160℃ 조건에서 중량값 0.320g/m의 코팅사 600m 길이의 약 2880D 폴리케톤 코팅사를 시생산하였다.

3. 폴리케톤 원사 코팅 가공 후 약 1.62g/d 인장강도 값이 감소하였으나, 내후성 테스트 7일 후에는 코팅가공 전의 시료와 달리 인장강도가 크게 감소하지 않으며, 약 89% 인장강도를 유지하는 것으로 나타났다. 또한 내후성 테스트 7일 후에는 코팅 전 폴리케톤 섬유 소재 elongation 물성의 약 85% 이상의 물성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 폴리케톤 섬유의 원사 코팅 공정 후에도 원사의 elongation 물성에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 사료되어진다.
4. 폴리케톤 소재를 추후 산업용 및 생활용 섬유 소재 용도로 적용하기 위해서는 폴리케톤 소재의 단점을 보완하고, UV 안정 및 기능성 부여를 위한 섬유 후가공 공정 연구가 진행 되어져야하며, 이와 관련하여 폴리케톤 원사 코팅 공정연구가 진행되어야 한다. 현재 사용되고 있는 산업용 소재의 원사 코팅 공정에서 폴리케톤 원사에 최적화된 노즐 개발이 필요할 것으로 사료 되어지며, 용도별 코팅제 피복량, 생산 속도조절 및 온도조절 등을 통해 코팅사의 품질확인 등 추가적인 연구개발이 필요할 것으로 보여진다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 WPM(World Premier Materials)사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. J. S. Won, H. Y. Choi, J. J. Yoo, H. N. Choi, D. K. Yong, and S. G. Lee, Interfacial Adhesion Properties of Oxygen Plasma Treated Polyketone Fiber with Natural Rubber, *J. Adhesion. Interface*, **1**, 45(2012).
2. J. S. Won, D. Y. Jin, H. G. Son, Y. K. Hong, and S. G. Lee, Interfacial Adhesion and Fatigue Resistance of Polyketone Fiber/Natural Rubber Composites with Primer Treatment, *Text. Sci. Eng.*, **51**, 63(2014).
3. M. S. Kim, Y. J. Jang, and J. H. Jang, Photo-

- oxidation and Dyeability of Poly Ketone by UV/O₃ Irradiation, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(1), 25(2013).
4. H. S. Bae, The Mechanical Properties of Working Clothes Materials Considering Industrial Settings, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(2), 140(2013).
 5. International Newsletters Ltd, World Markets for Technical Textiles to 2012, UK, p.13, 2008.
 6. S. R. Kim, S. J. Kim, and D. H. Lee, Analysis of the Physical Property of Nylon Coarse High Tenacity Yarn for Military and Technical Textiles, *J. of Korean Fiber Society*, **40**(1), 101(2008).
 7. S. R. Kim, D. H. Lee, J. H. Lee, S. Y. Yang, J. E. Kim, W. Lee, and D. J. Lee, Study on the Finishing Characteristics of Polyketone Fiber for Technical Textile, Proceeding of the Korea Society of Dyers and Finishers Conference, Daegu, p.120, 2014.
 8. S. R. Kim, J. W. Jeon, J. H. Lee, S. Y. Yang, J. E. Kim, W. Lee, and D. J. Lee, Study on Properties of Polyketone Fiber for Technical Textile, Proceeding of the Korea Society of Dyers and Finishers Conference, Pusan, p.236, 2014.
 9. Y. H. Yoon, J. I. Choi, and S. J. Do, Study on the Weathering Characteristics of Polyketone Fiber, Proceeding of the Korea Fiber Society Conference, Daejun, p.190, 2011.
 10. S. R. Kim, D. H. Lee, J. W. Jeon, and S. Y. Yang, Korea Pat. 10-2014-0187283(2014).