

해양용 로프의 내마모성에 관한 연구

이은주 · 이창환 · 김주용[†]

송실대학교 유기 신소재 · 파이버 공학과

Study on Abrasion Resistance of Mooring Ropes

Eunjuo Lee, Changhwan Lee and Jooyong Kim[†]

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University

(Received: September 8, 2010/Revised: October 18, 2010/Accepted: November 5, 2010)

Abstract— The laboratory inspection and analysis of several types of ropes such as edge tensile test, D/d tensile test and abrasion test were carried out in order to investigate the abrasion degradation by external damage and to obtain the fundamental data for measurement against the abrasion. PET ropes were socketed and evaluated under tensile testing. A yarn-on-yarn abrasion test machine has been developed to study the damage and failure associated with rubbing between fiber surfaces. The abrasion test method consists of sliding a length of interwrapped yarn against itself in a reciprocating fashion, either dry or immersed in liquid. It has also been adapted to measure yarn-on-yarn friction. The influence of spin finish on yarn friction and abrasion was investigated extensively. This study indicates that finish has a major effect not only on yarn performance but also on rope performance under the marine environment.

Keywords: PET, abrasion test, tension, denier, interwrap, offshore mooring

1. 서 론

해양용 로프는 해상 유전개발 시추선을 일정한 위치에 정착시키는데 필요한 로프로 사용되는 Mooring 시스템의 원리는 얇은 물가, 심해 중에 떠 있는 배나 구조체를 고정시키기 위해 사용되고, 바람이나 파도, 해류 등에 의한 흔들림과 손상을 견디도록 설계되었다. Offshore mooring의 제품은 최고 2,500m 이상의 심해에서 시추선, 대형해양선 또는 떠다니는 구조체와 연결시키는 수단으로 섬유소재 로프의 경량화 및 취급 안정성이 우수하여야한다¹⁾.

최근 해양 환경보호를 위해 해양용 로프의 소재가 스테인레스(금속)에서 고분자 섬유로 변화하고 있다. 주로 사용되는 소재중의 하나인 PET 원사의 비중은 1.38, 용점은 256℃로 내구성이 비교적 뛰어나고, 습윤 환경 하에서도 강도를 유지하는 장점을 보유하고 있다. 이를 타 소재와 비교해보면 Nylon의 경우에는 비중이 1.14, 용점이 218℃이며 특성은 높은 충격완화에 유리하지만,

습윤 시에 10~15%의 강도 저하가 생기는 문제점을 지니고 있다. 또한 UHMWPE 원사는 비중이 0.90으로 경량이고, 용점이 150℃며 특성은 매우 높은 강도와 경량성을 가지고 있지만 가격이 고가라 일부 용도에만 사용이 국한되어 있는 문제점이 있다²⁻⁸⁾.

이러한 문제점 해결방안으로 고강도이며 내구성이 우수하여 장기간 사용에도 강력저하가 거의 없는 고강력 폴리에스테르 고성능 원사 등을 그대로 이용 또는 표면코팅 하여 사용하였다. 이러한 연구 분야는 단순히 로프 영역을 넘어 다양한 분야에 적용되고 있다. 하지만 고분자 섬유소재 로프는 장기 사용 시 외부 물체와의 접촉 및 마찰에 의해서 파손될 위험이 매우 높아 내마모성을 증가시키는 연구가 필요하다^{9,10)}.

본 연구에서는 해양용 로프에 사용되고 있는 PET섬유의 내마모성을 측정하고 마모 메커니즘을 분석하여 필라멘트간의 마찰계수를 최소화 하는 방법을 개발하기위한 기초 연구를 수행하였다.

[†]Corresponding author. Tel.: +82-2-817-0726; Fax.: +82-2-817-8346; e-mail: cthlej@nate.com

2. 실험

2.1 시료

본 연구에서는 PET사의 내마모성을 측정하고 마모 메커니즘을 통해 필라멘트간의 마찰계수를 최소화 하는 방법을 개발하였다. 시료는 (주)삼양사로부터 제공받은 2,000D/192f PET사를 사용하였다. 유제의 표면처리 비율이 0.7(방사 후 미처리), 0.83, 0.94, 1.3%로 각각 처리한 후 마모시험의 시편으로 사용하였고, 하중 조건별 내마모성을 측정하기 위해 1,000D/192f PET사를 사용하였다. 그리고 내마모 성능에 미치는 측정변수의 영향에 관한 연구를 위해 2,000D/192f PET사로 유제의 표면 처리 비율이 1.3%로 처리된 시료를 마모시험의 시편으로 사용하였다.

2.2 마모 시험

ASTM 6611 법을 이용하여 실이 상호 꼬여진 구간에서 반복 마찰에 의해 끊어질 때까지의 누적 회전수를 측정하여 내마모성을 표시하였다. 시험은 건조 상태와 습윤 상태에서 각각 진행하여 비교하였다.

2.2.1 유제함량에 따른 내마모성

PET사의 유제 표면처리 비율이 다른 시험은 각 조건에서 장력을 700 gf, 1000 gf, 1300 gf로 변화시키며 마모성을 측정하였다.

2.2.2 섬도 조건별 내마모성

섬도에 따른 하중 조건별 내마모성을 측정하기 위해 Tension 기준은 절단강력을 통해 denier별 (1000d, 2000d, 3000d)로 하중을 결정하였다.

2.2.3 외부 환경별 내마모성

내마모 성능에 미치는 측정변수는 건조 상태에서 장력을 500 gf, 800 gf, 1000 gf로 변화시키고, 습윤 상태에서는 장력을 500 gf, 800 gf, 1200 gf로 변화시켜 rpm, interwrap수를 바꿔가며 마모성을 측정하였다.

2.3 분석 장비

내마모성 분석을 위해 ASTM 6611법을 이용하여 Fig. 1 내마모성기기(Yarn-on-yarn abrasion resistance, korea)를 이용하여 마모 시험 8회 이상 실행 후 각 시험의 재현성과 건조 상태와 습윤 상태에서 마모성을 측정하였다. 건조 조건 측정용 시료의

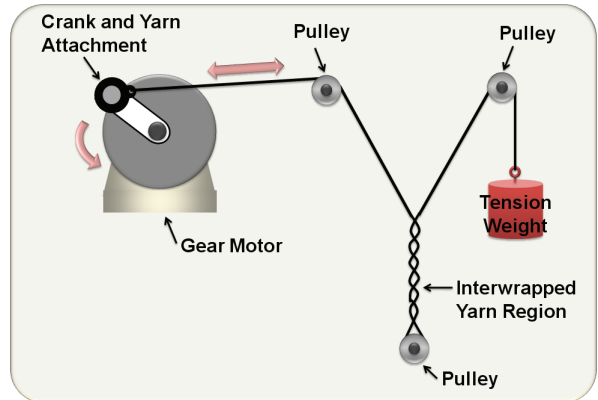


Fig. 1. The yarn-on-yarn abrasion test apparatus used.

전처리 조건은 온도 16~25°C, 상대습도 55~57%로 적어도 1시간 방치하였고, 습윤 조건 측정용 시료의 전처리 조건은 온도 16~25°C 물에 적어도 1시간 방치하여 사용하였다. 내마모성은 습윤 시간에 민감하므로 정해진 습윤 전처리 조건을 준수 하여야만 한다. 내마모성의 측정방법은 실의 한 부분을 고정시키고 두 도르래 사이에 꼬임을 주어 나머지 한부분에 장력을 걸어주어 실이 끊어지는 횟수를 측정한다. 기어 모터 속도는 60~70 rpm으로 고정시키고, 꼬임수는 3회로 고정시켰다.

마모시험 전후의 시료 표면 상태를 알아보기 위해 주사전자현미경(JEOL JSM-6360, Japan)을 사용하여 관찰하였고, 절단 강력을 분석하기 위해 UTM(TX0263)을 사용하여 섬도별 절단강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유제함량에 따른 내마모성 평가

미처리 시료(유제함량 0.7%)와 혼합 유제를 처리한 시료(유제함량 0.83, 0.94, 1.3%)의 내마모성을 비교, 평가하기 위하여 PET사의 표면 상태를 관찰하였다. Fig. 2-4 SEM images를 보면 각 시료의 표면, 마모 전후의 단면의 상태를 볼 수 있다. 표면 상태에서는 시료 별 큰 특징을 찾기 힘들었으나, 단면에서는 유제 양이 많아질수록 표면에 있는 유제가 보이는 현상을 나타내었다. Fig. 5를 통해 유제함량에 따른 건조 상태와 습윤 상태의 내마모성을 나타낸다. 건조 상태의 내마모성을 확인할 수 있는 (a)를 살펴보면 유제함량별 하중에 따른 내마모성을 나타낸다. 유제함량별 내마모성은 크게 차이가 나타나지 않았고, 그 중 유제

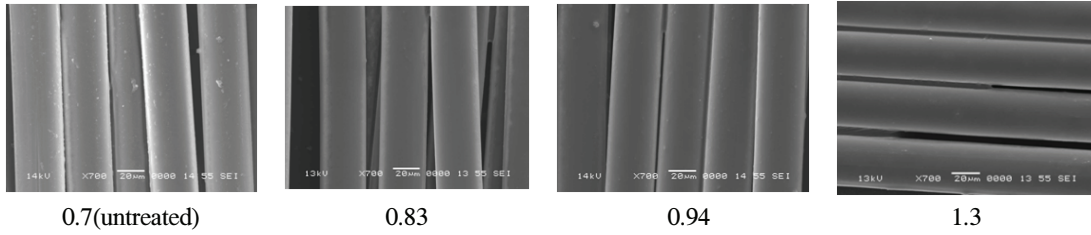


Fig. 2. SEM images of marine rope of surface.

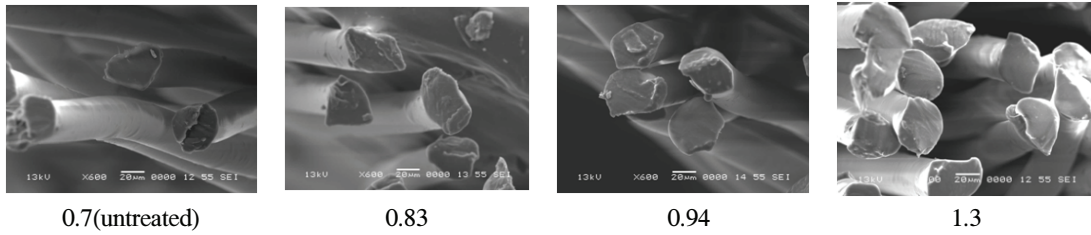


Fig. 3. SEM images of marine rope fiber of section.

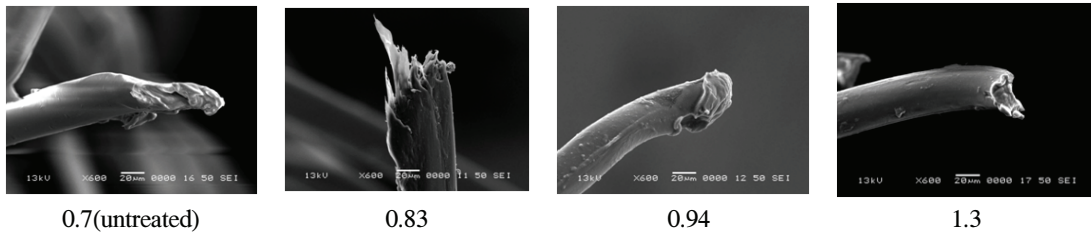


Fig. 4. SEM images of marine rope fiber after abrasion.

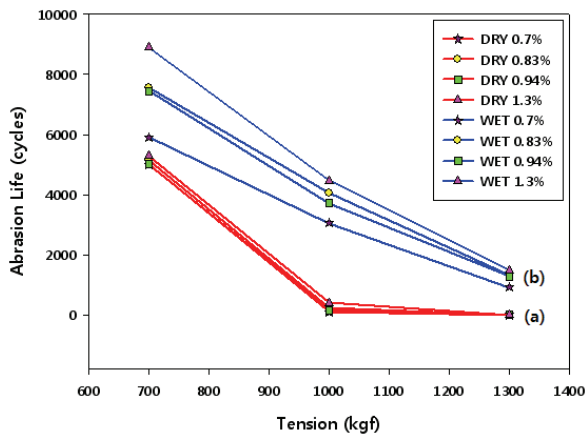


Fig. 5. Relationship between tension and abrasion resistance: (a) dry and (b) wet.

함량이 제일 높은 1.3%의 시료가 가장 높은 내마모성능을 나타내었다. (b)를 통해 습윤 상태의 내마모성을 확인할 수 있었다. 유제함량별 값의 차이가 나타났고, 건조 상태와 같이 1.3%의 시료가 가장 높은 내마모성능을 나타내었다. 습윤 상태에서는 0.83과 0.94의 비슷한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 건조 상태와 습윤 상태의 내마모성을 살펴보면 같은 시료임에도 불구하고 습윤 상태에서 확연히 큰 내마모성능을 나타내는

것을 알 수 있었다. 이는 건조 상태에서 꼬임이 가해진 부분의 마모가 계속 진행됨에 따라 시료의 마찰이 생성되고, 열이 발생하여 시료의 분자쇄 간의 거리가 커진다. 여기서 시료의 약점이 나타나 끊어지게 되는 것이다. 반면 습윤 상태에서는 물이 시료간의 직접적인 접촉을 막는 윤활유 역할을 하고, 열이 발생하는 것을 분산시켜주는 효과가 있다. 이로 인해 습윤 상태에서의 내마모성능이 건조 상태에서도 좋을 수 있었다.

3.2 섬도별 내마모성 평가

내마모 실험의 실험시간을 단축하며, 실험데이터 값의 편차가 적은 시험 평가법을 개발하기 위한 섬도에 따른 하중 조건별 기초 연구를 진행하였다. 1,000D/192f PET사로 미처리 시료(유제함량 0.7%)를 시편으로 사용하였다. Fig. 6는 UTM을 통해 테니어별로 증가하는 절단강도를 측정하여 테니어별 하중을 결정하여 실험을 진행하였다. Load / denier % 값이 20%, 30%를 나타내고, 실제로 내마모강도가 증가함을 알아볼 수 있었지만, UTM과 같은 결과를 얻을 수는 없었다. Fig. 7은 건조 상태에서 20, 30, 40%로 측정되어진 그

래프이고, Fig. 8은 습윤 상태에서 20, 30, 40, 50, 60%로 측정되어진 그래프이다. 3.1에서 언급하였듯이 건조 상태는 습윤 상태에서보다 낮은 내마모성을 지니기 때문에 고하중에서는 실험이 불가하여 세 가지의 측정값만 나타낼 수 있었고, 습윤 상태에서는 고하중에서도 실험이 가능하여 다섯 가지의 값을 나타낼 수 있었다. 캘리브레이션 커브를 그려서 유사한 값이 나오는지 확인하였으나, 절단 강도처럼 2~3배의 값을 얻을 수는 없었다. 이는 데니어수가 증가함에 따라 절단 시 가해지는 힘은 2배, 3배이지만, 마모강도는 시료의 표면끼리 비벼져서 시료가 녹아 붙는 것이라 절단 강도와는 다른 결과를 보인 것으로 사료된다. 이 실험을 통해 표준화 된 시료가 주어지지 않았을 때, 빠르게 실험조건을 찾을 수 있는 기초실험을 수행하였다.

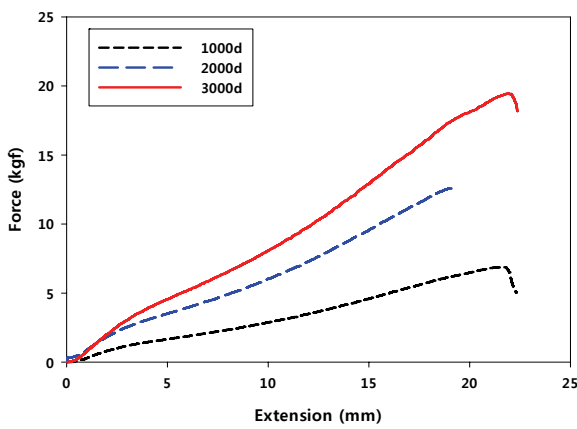


Fig. 6. Tensile strength of PET according to the denier.

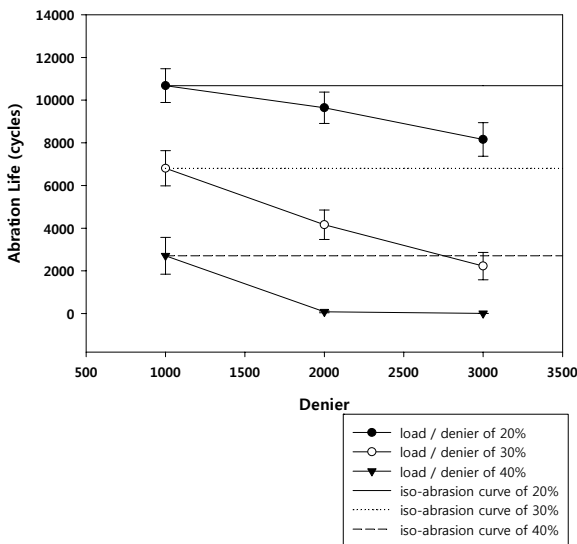


Fig. 7. Change of dry abrasion strength according to the tension and denier applied.

3.3 측정변수에 따른 내마모성 평가

유제의 표면처리 비율이 1.3%, 2,000D / 192f PET 원사를 이용하여 측정변수에 따른 내마모성을 평가하는 실험을 진행하였다. 이 실험도 다른 실험과 같이 건조 상태와 습윤 상태로 나누어 실험을 진행하였다.

먼저 건조 상태에서 장력을 500 gf, 800 gf, 1000 gf로 변화시켰고, Fig. 9은 rpm을 60으로 고정된 후 주어진 하중별로 각각 interwraps수를 3, 4, 5로 달리 실험하여 내마모성을 측정하였다. 동일 rpm, 동일 wraps에서 하중이 커질수록 내마모성이 작아지고, 동일 하중, 동일 rpm에서 interwraps수가 내마모성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10는 하중을 1000 gf, interwraps수는 3.5로 고정시키고, rpm을 30, 45, 60으로 변화한 그래프이다. 이는 동일하중 동일 interwraps수에서 rpm은 내마모성에 크게 영향을 주지 못하는 것

Table 1. Results of tensile test

	Initial modulus (gf)	Breaking force (gf)	Breaking tenacity (gf/den)	Elongation (%)
1000d	156.1	6868	6.868	8.59
2000d	348.8	12581	6.290	7.60
3000d	157.7	19436	6.478	8.75

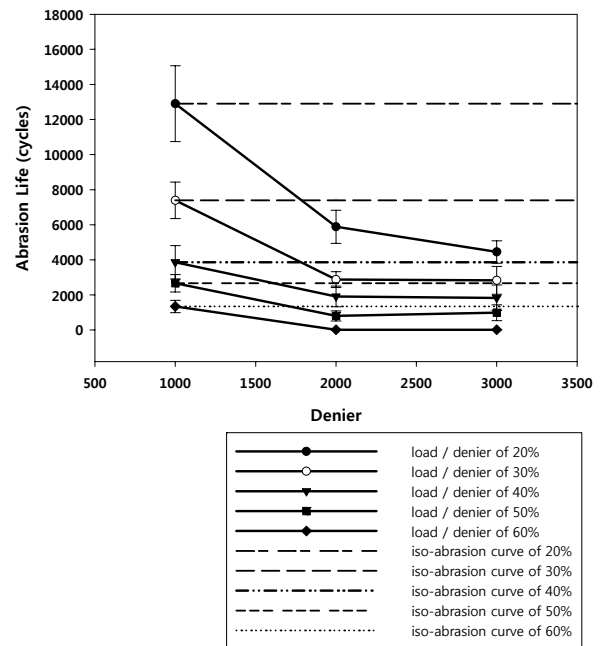


Fig. 8. Change of wet abrasion strength according to the tension and denier applied.

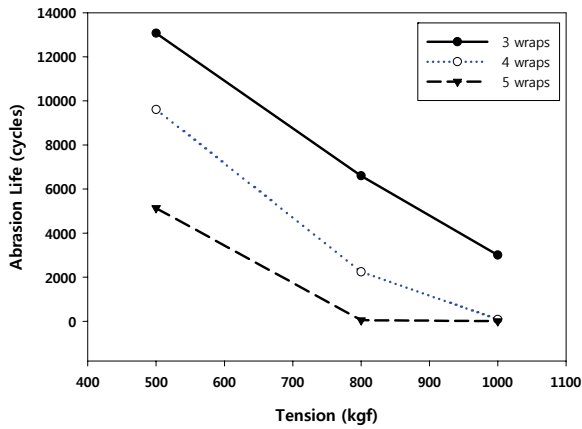


Fig. 9. Change of abrasion strength according to the tension applied (60rpm).

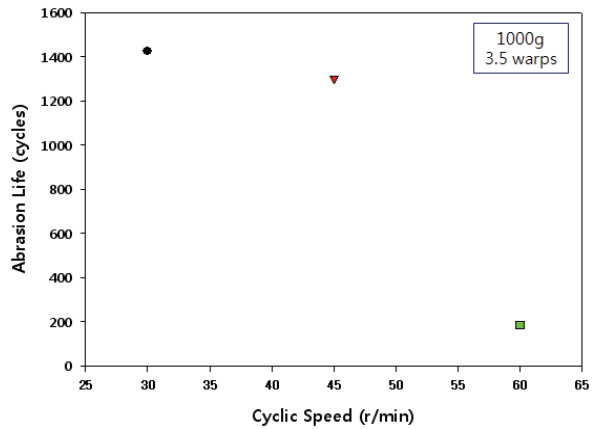


Fig. 10. Change of dry abrasion strength according to the cyclic speed.

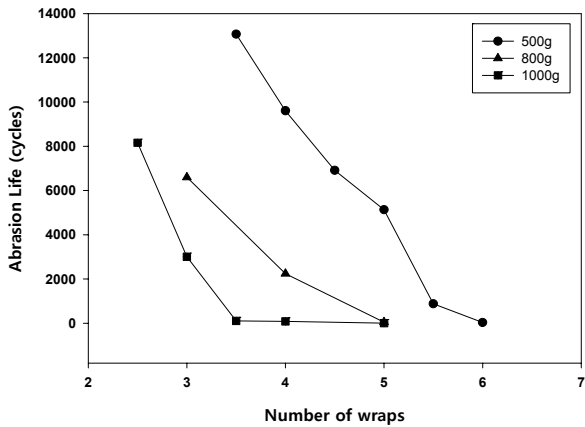


Fig. 11. Change of abrasion strength according to the number of wraps (60rpm).

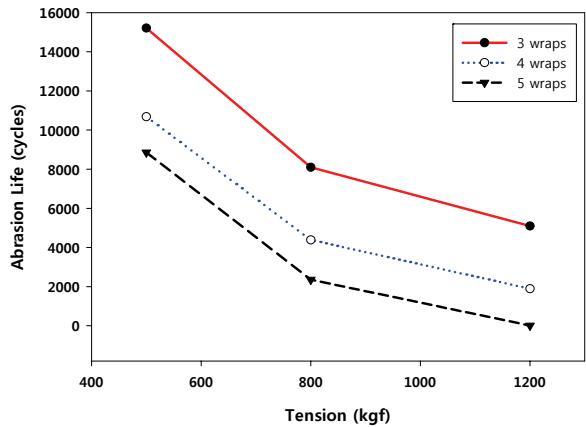


Fig. 12. Change of abrasion strength according to the tension applied (78rpm).

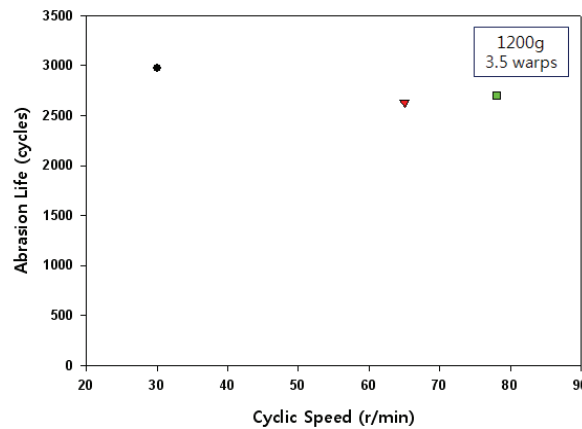


Fig. 13. Change of abrasion strength according to the cyclic speed (Wet).

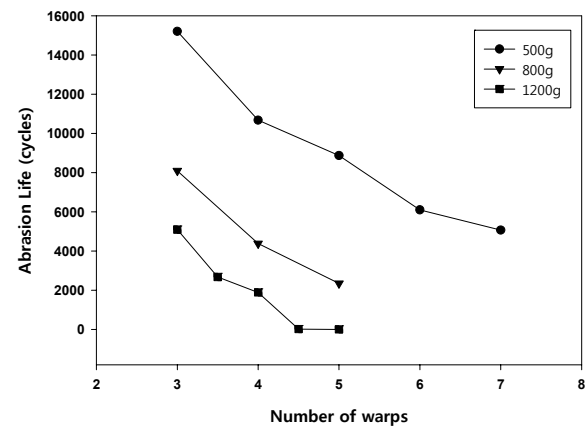


Fig. 14. Change of abrasion strength according to the number of wraps (78rpm).

을 알 수 있었다.

Fig. 11은 500 gf, 800 gf, 1000 gf로 60 rpm에서 각각의 interwraps수를 달리하여 측정된 내마모성 값을 나타내었다. interwraps수가 증가함에 따라 내마모값이 작아지는 것을 확인 할 수 있고, 꼬임

수가 내마모성에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

다음 습윤 상태에서는 장력을 500 gf, 800 gf, 1200 gf로 변화시켜 내마모성능을 알아보았다. Fig. 12은 78 rpm을 고정하여 하중별로 interwraps수를 3, 4, 5로 달리 실험하여 내마모성을 측정하

였다. 이도 건조 상태와 마찬가지로 동일 rpm, 동일 wraps에서 하중이 커질수록 내마모성이 작아지고, 동일 하중, 동일 rpm에서 interwraps수가 내마모성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13는 rpm의 변화에 따라 변화하는 내마모 성능을 알아보는 그래프로 1200 gf, interwraps수는 3.5로 고정한 후 rpm을 30, 65, 78로 바꿔가며 실험한 그래프이다.

마지막으로 Fig. 14는 interwraps 실험으로 500 gf, 800 gf, 1200 gf 의 하중에 78 rpm을 고정하여 각각 interwraps수를 달리하여 얻은 그래프로 건조 상태와 같은 결론을 얻을 수 있다. interwraps수가 증가함에 따라 내마모값이 작아지는 것을 확인할 수 있고, 꼬임수가 내마모성에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

해양용 로프에 사용되는 PET사의 내마모실험을 통해 마모 메커니즘을 분석하고, 측정변수들이 내마모 성능에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 유제함량이 제일 높은 시료가 가장 높은 내마모 성능을 나타내었고, 건조 상태보다 습윤 상태에서 높은 내마모 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 이유는 물이 윤활유 역할과 열 분산 효과를 도와 주었기 때문으로 사료된다. 데니어수가 증가함에 따라 절단 시 가해지는 힘은 2배, 3배이지만, 마모강도는 시료의 표면끼리 비벼져서 시료가 녹아 붙는 것이라 절단 강도와는 다른 결과를 보였다. 측정 변수인 하중, rpm 그리고 interwraps수에 따라 내마모 성능에 미치는 영향에 관해 알아보았다. 동일 rpm, 동일 wraps에서 하중이 커질수록 내마모성이 작아지고, 동일 하중, 동일 rpm에서 interwraps수가 내마모성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 반면, 동일 하중, 동일 interwraps수에서 rpm은 내마모성에 크게 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있었다.

이 연구 방법은 내마모성에 관한 기초적인 실험으로 실제 해양용 로프, 정박용 로프로 사용되기 앞서 꼭 필요한 연구이다. 실제 로프에 사용되는 얇은 192f의 필라멘트사를 이용하여 적정 하중에 알맞은 시료 선택뿐만 아니라 적정한 조건을 선택하여 내마모성을 증가시키는 연구로 실험시간을 단축하며, 실험데이터 값의 편차가 적은 시험 평가법을 개발하기 위한 기초 연구를 수

행하였다. 앞으로 기술적인 측면에서 본 연구 방법의 대량화 기술이 조금 더 연구되어야 할 부분으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 송실대학교 교내 학술연구지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. J. F. Flory, J.W.S. Hearle, and M. Goksoy, "Abrasion Resistance of Polymeric Fibres In Marine Conditions", JWS Hearle 2nd International Conference on Polymers in a Marine Environment, pp.197-204, 1989.
2. A. T. Ractliffe and M. R. Parsey, Man-Made Fibre Ropes for Marine Use, *Offshore Technology Conference*, May, 6-9(1985).
3. P. Dove, The Development and Testing of Polyester Moorings for Ultradeep Drilling Operations, *Offshore Technology Conference*, May, 1-4(2000).
4. D. Petruska, J. Geyer, R. Macon, M. Craig, A. Ran, and N. Schulz, Polyester Mooring for the Mad Dog Spardesign Issues and Other Considerations, *Ocean Engineering*, 32, 767-782 (2005).
5. Y. Shuto, Y. Tokunaga, T. Mriya, T. Kagoyama, S. Hara, and K. Yamakawa, Abrasion Degradation of Wire Rope and Synthetic Fiber Rope, *Oceans*, 4, 1918-1922(2005).
6. I. M. L. Ridge, Tension-torsion Fatigue Behaviour of Wire Ropes in Offshore Moorings, *Ocean Engineering*, 36, 650-660(2009).
7. T. M. Schmidt, C. Bianchini, M. M. C. Forte, S. C. Amico, A. Voronoff, and R. C. F. Goncalves, Socketing of Polyester Fibre Ropes with Epoxy Resins for Deep-water Mooring Applications, *Polymer Testing*, 25, 1044-1051 (2006).
8. N. E. Casey and S. J. Banfield, Full-scale Fiber Deepwater Mooring Ropes: Advancing the Knowledge of Spliced Systems, *Offshore Technology Conference*, OTC 14243, May, 6-9 (2002).

9. J. W. S. Hearle, M. R. Parsey, M. S. Overington, and S. J. Banfield, "Modelling the Long Term Fatigue Performance of Fibre Ropes", Proc. Third Int. Isope Conf., pp.377-383, 1993.
10. J. W. S. Hearle and M. MirafTAB, The Flex Fatigue of Polyamide and Polyester Fibres. Part 1: The Influence of Temperature and Humidity, *J. Materials Sci.*, **26**, 2816-2867(1991).