

복합 중공사막 섬유지지체 Pilot scale 생산을 위한 브레이딩 제조공정설계에 관한 연구

이호영, 우종형, 박성빈·김종훈, 박홍원*
한국섬유소재연구원
e-mail: parkong1@koteri.re.kr

A Development on the Braiding Process for the Pilot Scale Production of Hollow Fiber Membrane

Hoyoung Lee, Jonghyung Woo, Seongbin Park, Jonghoon Kim,
Hongwon Park*,
Korea High Tech Textile Research Institute

요약

본 연구는 섬유공정 중 브레이딩 제조방법을 사용하여 수 처리 분리막에 적용할 수 있는 UF급 복합 중공사막 섬유지지체 제조공정설계에 관한 연구이다. 연구에서는 브레이딩 Pilot scale 생산과정에서 발생하는 직조 생산시스템 문제점을 분석하고 개선하였으며, Yarn 형성구간에 따라 Bobbin의 공급 원사길이 차이 값을 해석하여 mm 급 단위로 제어할 수 있는 Pilot 공정 데이터를 산출하였다. 실험 결과, 섬유지지체의 직경은 분리막의 두께와 연관되며, 목표 직경의 브레이드사를 제조하기 위해서는 Bobbin 수 증가가 필요하다는 결론을 얻었다. 또한, 20M급 생산을 위해서는 24 Bobbin carrier 이상의 장비와 브레이드 형성구간이 유연하게 확보된 Interlacing 기술이 필요함을 제시하고자 한다.

1. 서론

브레이딩(Brading)은 간단하고 유용하게 사용될 수 있는 섬유 공정 중 하나이며 구조물이 형성되는 방법에서 직물 또는 편물보다 단순하다. 브레이드 제조방법은 둘 또는 그 이상의 종류의 실이 일체형 구조를 형성하도록 사선방향으로 교차시킨다.

브레이드는 다른 섬유구조물(직물, 편물, 부직포)과는 다르게 고유한 물성을 특화시켜 개발하기에 적합하다. 특히, 브레이드 구조물은 비틀림 강도, 굽힘강도, 마찰저항이 높아 봉합사에서부터 고압을 견딜 수 있는 호수의 보강재료로 사용되고 있다.

본 연구에서는 수 처리 분리막(Membrane)에 활용 가능한 UF(Ultra Filtration)급 복합중공사막 섬유지지체로서 브레이딩 Pilot scale 생산과정에서 발생하는 직조 생산시스템 문제점을 분석하고 개선하고자 한다. 특히 Yarn 형성구간에 따라 Bobbin의 공급 원사길이에 대한 해석을 통하여 mm 급 단위로 제어할 수 있는 Pilot 공정 데이터를 산출할 수 있었다.

2. 본론

2.1 실험장비

브레이드 구조물은 제조방법에 따라 형상(차원)이 다르지만 전형적인 브레이딩 기계는 Track Plate, Spool carrier, 가변 기어가 가능한 Take-off roll 로 구성되어 있다. 브레이드 사

의 균일한 장력이 걸리도록 하기 위하여 하측 암(장력유지장치)이 사용되었다. Track Plate는 Carrier가 정해진 길을 움직일 수 있도록 지지해주며 이들의 움직임은 Horn 기어 등과 같은 기구에 의해서 결정된다. Carrier는 Braiding yarn의 장력 및 패키징 운반을 돕는 역할을 한다(그림1).



[그림 1] 브레이딩 제조장비.

2.2 복합 중공사막 섬유지지체 생산

2.2.1 Braid 원사 · Bobbin carrier 설계

섬유지지체의 직경은 분리 막의 두께와 연관되며 분리성능 및 차압(TMP)에 영향을 준다. 따라서 목표 직경의 브레이드사를 제조하기 위해 20, 24 Bobbin carrier 구성으로 진행하였으며 설계 조건은 아래 표1과 같다.

[표 1] Braid 설계 조건

시료명	원사 구성	Bobbin carrier
075F24B	PET FY 75D36F 1 Ply	24
150F24B	PET FY 75D36F 2 Ply	24
150T24B	PET FY 75D36F 2 Ply Twisted	24
300F20B	PET FY 150D72F 2 Ply	20
300T20B	PET FY 150D72F 2 Ply Twisted	20

20 Bobbin carrier 조건으로는 목표하는 조건의 브레이드를 얻을 수 없으며 24 Bobbin carrier 브레이딩 시 문제점을 파악하고 이를 직조 시스템 관점에서 개선 및 보완하였다. 표1 조건을 토대로 시제품 제작을 하였으며 원사 점도 증가 및 Bobbin 수 증가가 필요하다는 결론을 얻었다.

2.2.2 권취(Take-off roll) 기어 비 설계

24 Bobbin carrier 이상의 장비로 20M급 생산이 필요하나 해당 장비의 경우 사절에 의한 Interlacing 불가로 근본적인 원인분석과 해결방안이 필요한 것으로 판단하였다. 300D20B 및 300D20B 시료는 권취기어비 24:100 조건으로는 생산속도가 권취속도보다 빨라 정상적인 Braiding이 불가하였으며, 이로 인해 권취기어비를 30:100 로 조정하였다(표2).

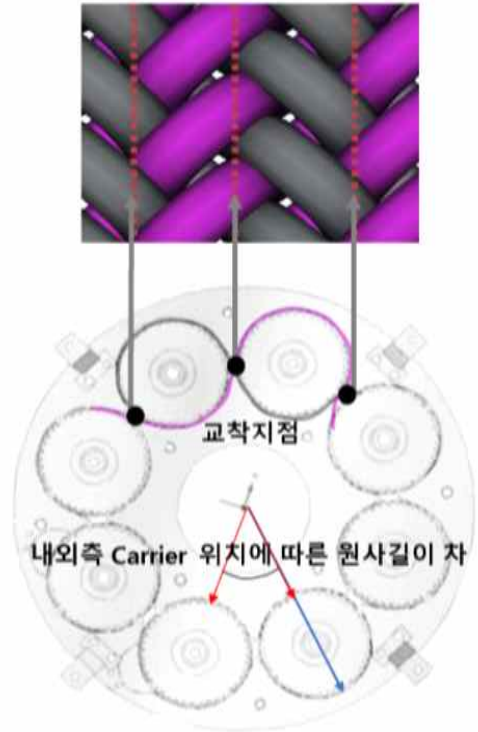
2.3 Braid 시스템 설계 (Pilot scale)

2.3.1 Bobbin carrier 제어

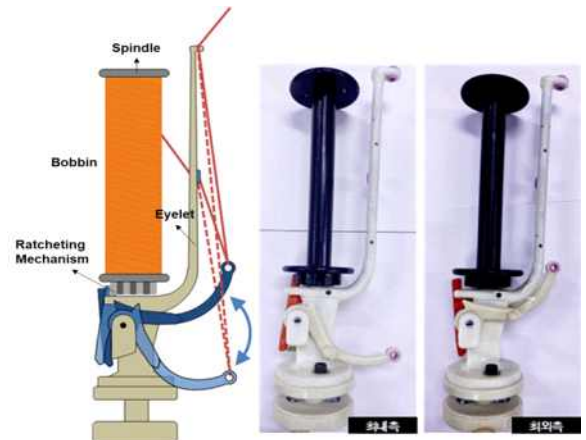
Braid 시스템의 문제점 분석을 위해 Bobbin의 구조를 분석한 결과 아래와 같은 특징 및 기능을 가지고 있다. Bobbin의 핵심 기능은 적정량의 원사를 공급하면서 회전함으로써 Braid를 원활하게 수행하게 하는 것이며, 이외에도 내·외측 위치에서의 원사길이의 차이를 보정해 주는 기능을 더하였다(그림2). Bobbin은 위와 같은 구조를 가지고 있는데, Bobbin이 내측에 위치하여 공급원사의 여분이 발생하면 하측 암(장력유지장치)이 내려가면서 여분의 원사를 당겨주는 동시에 원사보빈이 회전되지 않도록 고정하였다(그림3).

[표 2] Braid 제작 결과

시료명	권취기어비 (x:100)	제작결과		외경(mm)	내경(mm)
		생산성	생산량(m)		
150D20B	24	○	20 (결점없음)	1.0~1.1	0.8~0.9
150D24B	24	○	20 (결점없음)	1.1~1.3	0.9~1.1
225D20B	24	○	20 (결점없음)	1.2~1.4	1.0~1.2
225D24B	24	○	20 (결점없음)	1.4~1.5	1.2~1.3
300D20B	30	○	20 (결점없음)	1.1~1.2	0.9~1.0
300D24B	30	○	20 (결점없음)	1.6~1.7	1.3~1.4



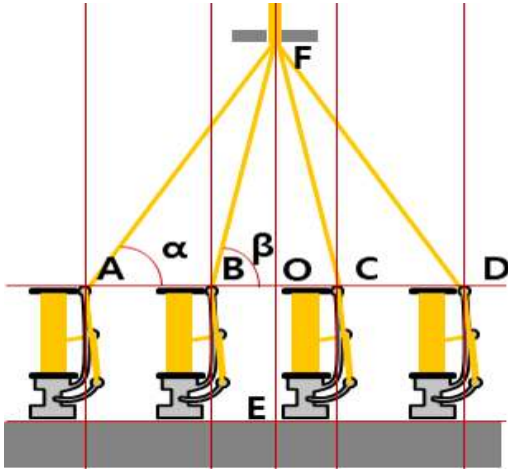
[그림 2] Braid 제조모식도 및 제어인자.



[그림 3] Bobbin carrier 원사길이 보정 기구 구조 및 원리

2.3.2 Braid Yarn 형성구간 설계

Braiding 기구의 기본 구조는 그림4와 같이 나타내며 발생하는 원사길이 차이를 삼각함수로 표현할 수 있다.



[그림 4] Braiding 기본 제작 구조

여기에서 AF 및 BF의 길이는 식1과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{식1)} \quad \sin\alpha &= \frac{FO}{AF}, & AF &= \frac{FO}{\sin\alpha} \\ \sin\beta &= \frac{FO}{BF}, & BF &= \frac{FO}{\sin\beta} \end{aligned}$$

알고 있는 AO, FO의 길이 및 삼각함수와 역삼각함수의 정의로부터 α, β 는 식2와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{식2)} \quad \tan\alpha &= \frac{FO}{AO}, & \alpha &= \tan^{-1} \frac{FO}{AO} \\ \tan\beta &= \frac{FO}{BO}, & \beta &= \tan^{-1} \frac{FO}{BO} \end{aligned}$$

따라서 위의 식은 다음과 같이 정리할 수 있다. 그러므로 Braiding 시 Bobbin의 최외측 및 최내측 위치에서 Braiding 위치까지의 원사길이 차이는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\text{식3)} \quad AF = \frac{FO}{\sin(\tan^{-1} \frac{FO}{AO})}, \quad BF = \frac{FO}{\sin(\tan^{-1} \frac{FO}{BO})}$$

Braiding 시 Bobbin의 최외측 및 최내측 위치에서 Braiding 위치까지의 원사길이 차이는 식4와 같이 구해질 수 있다.

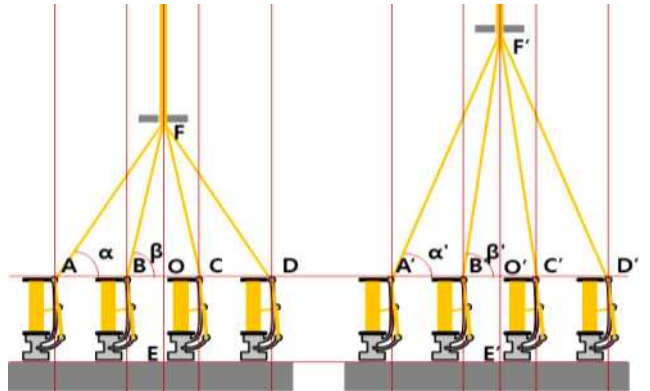
$$\text{식4)} \quad (\text{원사길이 차이}) = AF - BF = \frac{FO}{\sin(\tan^{-1} \frac{FO}{AO})} - \frac{FO}{\sin(\tan^{-1} \frac{FO}{BO})}$$

예를 들어 AO의 길이가 3, BO의 길이가 2, FO의 길이가 3인 경우와 FO 길이를 4인 경우를 비교하면 FO의 길이가 늘어나면 원사의 길이 차는 줄어드는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{식5)} \quad AF - BF &= \frac{3}{\sin(\tan^{-1} \frac{3}{3})} - \frac{3}{\sin(\tan^{-1} \frac{3}{2})} \\ &= \frac{3}{\sin 45} - \frac{3}{\sin 56.3} = \frac{3}{0.7071} - \frac{3}{0.8321} = 0.6371 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A'F' - B'F' &= \frac{4}{\sin(\tan^{-1} \frac{4}{3})} - \frac{4}{\sin(\tan^{-1} \frac{4}{2})} \\ &= \frac{4}{\sin 53.1} - \frac{4}{\sin 63.4} = \frac{4}{0.8000} - \frac{4}{0.8944} = 0.5279 \end{aligned}$$

이러한 결과를 바탕으로 여분의 공급원사를 줄이는 방향으로 기구를 개선하고자 그림5와 같이 FO의 길이를 F'O'로 늘리고자 하였다.



[그림 5] Braiding 형성구간(높이에 따른 부위 별 공급원사 길이 변화 모식도

또한, 이 밖에 다른 원인을 파악하기 위해 20 및 24bobbin 브레이드의 구조 및 각 부위의 길이를 측정하였다.

[표 3] Bobbin carrier 위치에 따른 구조·부위의 측정값

측정위치	20 Bobbin	24 Bobbin
외측 Bobbin 기준 직경	430 mm	550 mm
내측 Bobbin 기준 직경	240 mm	320 mm
Braiding 높이(바닥부터)	400 mm	400 mm
Bobbin 원사급사구 높이	270 mm	245 mm

식5에서 구한 식을 활용하여 Bobbin의 최외측 및 최내측 위치에서 Braiding 위치까지의 원사길이 차이를 계산하고자 실측된 Braiding기의 해당부분의 길이를 대입하여 계산한 결과는 표3과 같았다. 또한 Braid 높이를 약 70mm 상승시킨 경우의 원사길이 차이도 함께 산출하였다(표4).

[표 4] Braiding 높이에 따른 내외측 Bobbin의 공급원사 길이차이

구분	부위	20 Bobbin		24 Bobbin				비고
				개선 전		개선 후		
실측치	EF	400	mm	400	mm	470	mm	Braiding 높이
	EO	270	mm	245	mm	245	mm	Bobbin 높이
	AD	430	mm	550	mm	550	mm	Bobbin 최대 너비
	BC	240	mm	320	mm	320	mm	Bobbin 최소 너비
	(AD+BC)/2	335	mm	435	mm	435	mm	Bobbin 중간 너비
계산치	AO	215	mm	275	mm	275	mm	AD/2
	BO	120	mm	160	mm	160	mm	BC/2
	FO	130	mm	155	mm	225	mm	EF-EO
	$\tan\alpha$	0.6075		0.5636		0.8182		AO/FO
	$\tan\beta$	1.0833		0.9688		1.4063		BO/FO
	α	31.2	°	29.4	°	39.3	°	$\tan^{-1}(AO/FO)$
	β	47.2	°	44.1	°	54.6	°	$\tan^{-1}(BO/FO)$
	AF	251.2	mm	315.7	mm	355.3	mm	FO/sin α
	BF	176.9	mm	222.8	mm	276.1	mm	FO/sin β
	AF-BF	74.3	mm	92.9	mm	79.2	mm	최대 최소 원사길이 차이

20 Bobbin Braiding기에서는 내외측 Bobbin 위치에서의 길이 차이가 74.3 mm로 Bobbin의 장력유지장치 보정 범위 내에 있었으나, 24 Bobbin의 경우 길이 차이가 92.9 mm로 Bobbin의 장력유지장치 보정 범위를 벗어나기 때문인 것으로 추정할 수 있었다. 해당 산출결과를 토대로 Braiding 높이를 70 mm 높이면 원사 길이 차이가 보정범위 내에 들어올 것으로 예상하고 기구를 수정하였다.

3. 결론

Braiding 높이를 조정한 24 Bobbin Braiding기를 통해 시제품을 제조한 결과 결점이 현저히 줄어들어, 400 시간 연속적인 시제품 제작에도 결점이 발생되지 않음을 확인하였다. 결과적으로 목표 직경의 브레이드 사의 Pilot scale 생산을 위해서는 24 Bobbin carrier 이상의 장비와 브레이드 형성구간이 유연하게 확보된 Interlacing 기술이 필요함을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 산업통상자원부 소재부품기술개발 사업의 전략핵심소재자립화 기술개발사업(20010447)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이준석, “브레이딩”, 섬유기술과 산업 (Fiber Technology and Industry) 제7권 2호, 2003
- [2] David Branscomb, “New Directions in Braiding”, Braiding Technology for Textiles (Book), pp. 47-69, 2015
- [3] 윤창환, “대기공 정밀여과막의 수처리 응용 및 문제점”, 멤브레인 (Membrane Journal) 제 3권 24호, pp. 194-200, 2014
- [4] 김종학, “멤브레인 분류 및 제조방법에 대한 튜토리얼 총설”, 멤브레인 (Membrane Journal) 제3권 32호, pp.198-208, 2022
- [5] 염충균, “고온 고압용 상업적 규모의 중공사 투과증발 막시스템 개발”, 멤브레인 (Membrane Journal) 제 4권 23호, pp. 257-266, 2013
- [6] 이경혁, “초순수 생산을 위한 최적공정 조합 평가”, 대한환경공학회 (J Korean Soc Environ Eng) 제7권 38호, pp.364-370, 2016
- [7] 권병수, “초순수용 막탈기공정 용존산소 제거효율 평가”, 대한환경공학회 (J Korean Soc Environ Eng) 제10권 41호, pp. 541-553, 2019