

PPS 섬유의 개론 및 적용 사례

1. 서 언

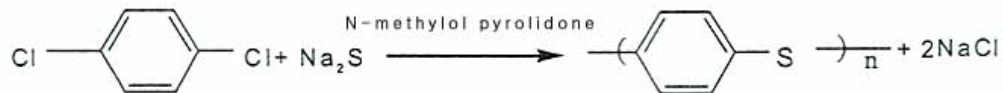
PPS(polyphenylene sulfide) 섬유는 결정성의 고기능성 열가소성 산업용 섬유로 폴레페닐렌설파이드 수지를 섬유화한 것이다. 내약품성, 내열성, 난연성, 전기특성, 내증열성, 단열성 등이 우수하다. 내열성 및 내약품성 등의 균형 있는 특성과 가격적인 측면에서 이점이 있어 내열성 백 필터로 많이 사용되고 있으며, 전 세계적으로 PPS 섬유의 수요는 연간 6,000 톤 정도로 추정된다.

PPS 섬유는 Philips Fibers 사(미국)가 1983 년에 “라이톤”이라는 상표로 시장에 출시하였다. 1988 년에 도요보가 “프로콘”이라는 상표로 생산을 시작하였으며, 1998 년에는 도레이가 “토르콘”이라는 상표로 시장에 참여하였다. Philips Fibers 사의 PPS 섬유사업은 2001 년에 도레이가 매수하여 전세계적으로 도레이와 도요보의 2 개사 체제가 되었다. 이후 급격한 수요 증가에 대응하여 2005 년 이후에는 미국의 FIT, 스위스의 Nexis, 중국의 일부 회사가 신규로 참여하였다. 이중에서도 중국은 1990 년대에 PPS 섬유의 개발을 시작하였으며, 중국 사천성 방직공업연구소는 1990 년에 사천대학 등과 협력하여 국가 “863 계획”으로 PPS 섬유를 개발하였다. 2006 년 12 월에는 중국 강소서태 과학기술유한공사가 사천성 방직공업연구소와 공동 개발로 PPS 섬유의 시험생산에 성공하여 연간 1,500 톤 규모의 공장으로 PPS 섬유의 생산을 시작하였다. 다만, 현재 해외 제품에 비해 장기간에 걸친 내열 열화 유지성능이 떨어지는 등의 품질적인 측면에서 문제가 있다.

1.1 제조 방법 및 구조

PPS 중합체는 N-methylol pyrrolidone 과 같은 극성 용매에 황화나트륨을 용해하고, 이를 p-dichlorobenzene 과 중합하여 얻는다<그림 1>. 얻어진 중합체를 펠렛화하고 용융방사, 연신, 권축가공 및 절단하여 스테이플 섬유로 제조한다. 또한, 멀티필라멘트사, 모노필라멘트사도 제조되고 있다.

PPS 중합체는 가교형 및 선형 타입의 2 가지가 있으며, 섬유용으로 사용되고 있는 것은 인장성이 좋은 선형 타입이다. PPS 중합체의 반응 생성물은 다양한 부산물 생성물 및 불순물을 함유하고 있기 때문에 이것을 제거하는 것이 필요하며, 이러한 정제 공정은 제조 비용에 큰 부분을 차지하고 있다.



<그림 1> PPS 축합 중합 반응

1.2 특성

PPS 섬유는 우수한 내열성·내약품성을 가진 고기능성 섬유이다. 기계적 특성도 기존섬유와 유사한 수준으로, 주요 특성을 <표 1>과 <표 2>에 나타내었다.

PPS 섬유는 융점이 285℃로 높고 장기간 내열성도 매우 우수하여, 일반적으로 산소 농도 21 vol. %의 공기하에서 190℃로 연속 사용이 가능하다(공기 중에서 10 만 시간 노출 경과시의 강도유지율이 50% 이상인 경우). 또한, 내증열성이 높아 160℃의 가압멸균장치에 160 시간동안 노출시켜도 90% 이상의 강도유지율을 나타낸다.

<표 1> PPS 섬유 의 물성 비교표

구분	PPS	m-아라미드	PET
비중(g/cm ³)	1.34	1.38	1.38
인장강도(Cn/dtex)	3~5	4.0~4.9	4.2~5.7
인장신도(%)	30~60	25~35	20~50
융점 · 분해온도(℃)	285	400~430	255~260
상용사용 온도(℃)	190	210~230	80~120
내산성	○	X	△
내알리성	○	○	X
내유기약품성	○	X	△
난연성(LOI)	34	30	20~21
내증열성	○	X	X

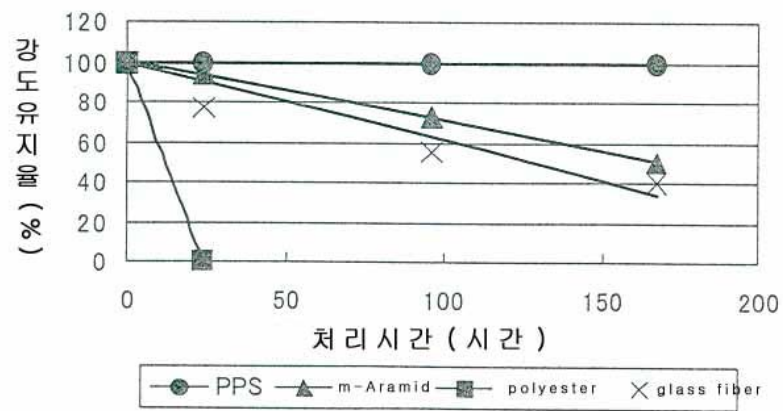
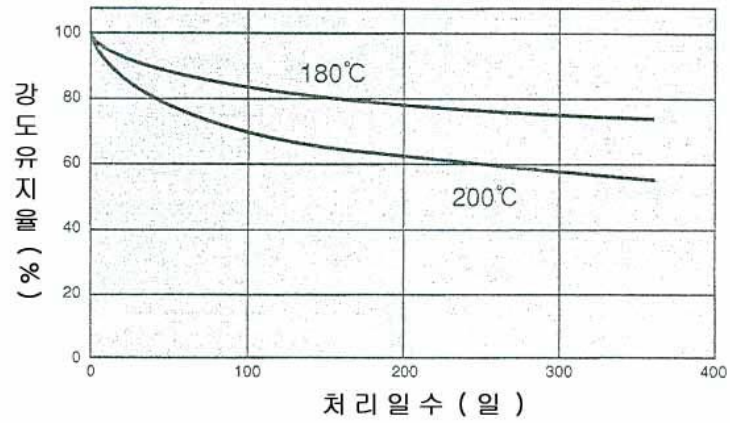
<표 2> PPS 섬유의 내약품성

구분	강도유지율(%)	참고
산		
48% 황산	100	93℃ 1 주일간 침지
10% 염산	100	93℃ 1 주일간 침지
농염산	100	60℃ 1 주일간 침지
농인산	95	93℃ 1 주일간 침지
질산	100	93℃ 1 주일간 침지
포름산	100	93℃ 1 주일간 침지
알칼리		

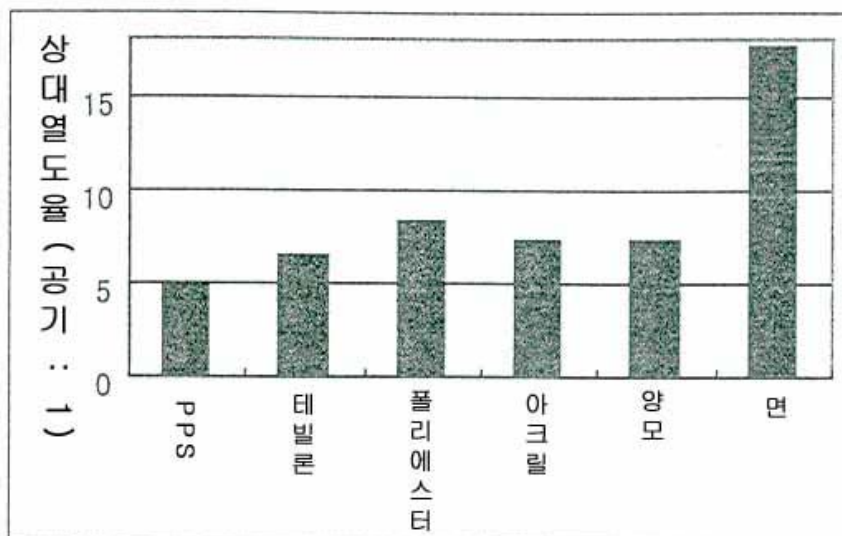
10% 가성소다	100	93℃ 1 주일간 침지
30% 가성소다	100	93℃ 1 주일간 침지
유기용제		
사염화탄소	100	비등온도 1 주일간 침지
클로로포름	100	비등온도 1 주일간 침지
2 염화에틸렌	100	비등온도 1 주일간 침지
퍼클로로에틸렌	100	비등온도 1 주일간 침지
톨루엔	75~90	93℃ 1 주일간 침적
산화제		
10% 질산	75	93℃ 1 주일간 침지
농질산	0	93℃ 1 주일간 침지
50% 크롬산	0~10	93℃ 1 주일간 침지
5%차아염소산	20	93℃ 1 주일간 침지
농황산	10	93℃ 1 주일간 침지

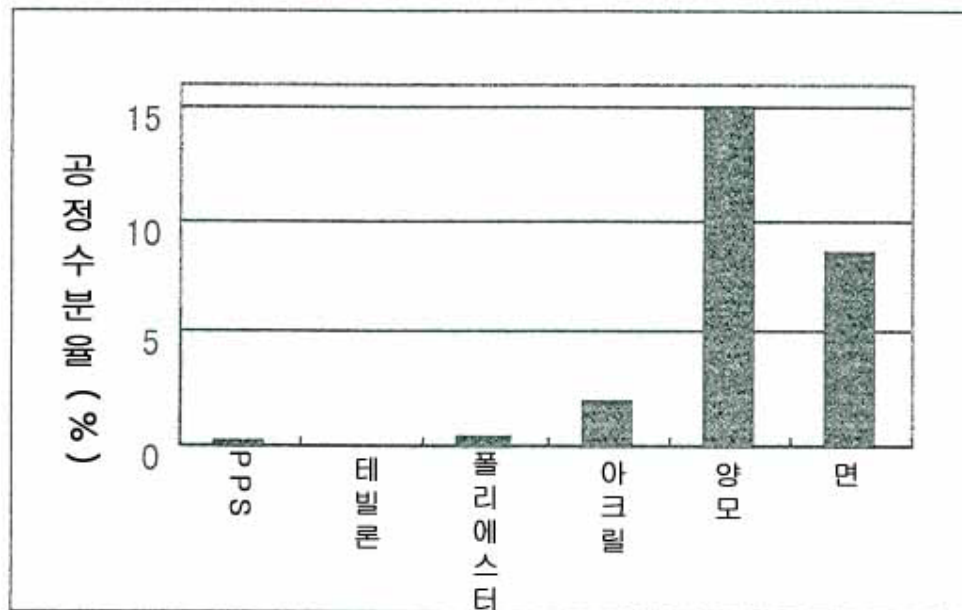
또한 PPS 섬유는 내약품성이 우수하다. 특히 고온(150~190℃)에서도 우수한 내약품성이 발휘되며, 190℃ 이하에서 강력한 산화제를 제외한 산, 알칼리 및 유기용제에 대해 내구성을 지닌다. 또한, 난연성도 우수하여 용융되어 방울져 떨어지는 현상(non-drip)이 없고 자기소화성을 가진다.

한편, PPS 섬유에는 보온성이라는 우수한 특성도 있다. 보온 특성에 대해 PPS 섬유는 상대열도전율이 5(공기가 1 도임)로서, 모포 등에도 사용되고 있는 아크릴 및 양모, “테빌론(Tevilon ; 보온성이 우수한 염화 비닐계 섬유)”보다 낮고, 공정수분율도 폴리에스터의 절반정도로 낮다. 이 두가지 특징이 어우러져 높은 보온성을 가지며, 피부 접촉시 따뜻한 느낌을 준다.



<그림 2> 장기내열성(상) 및 내증열성(내가수분해성)(하)



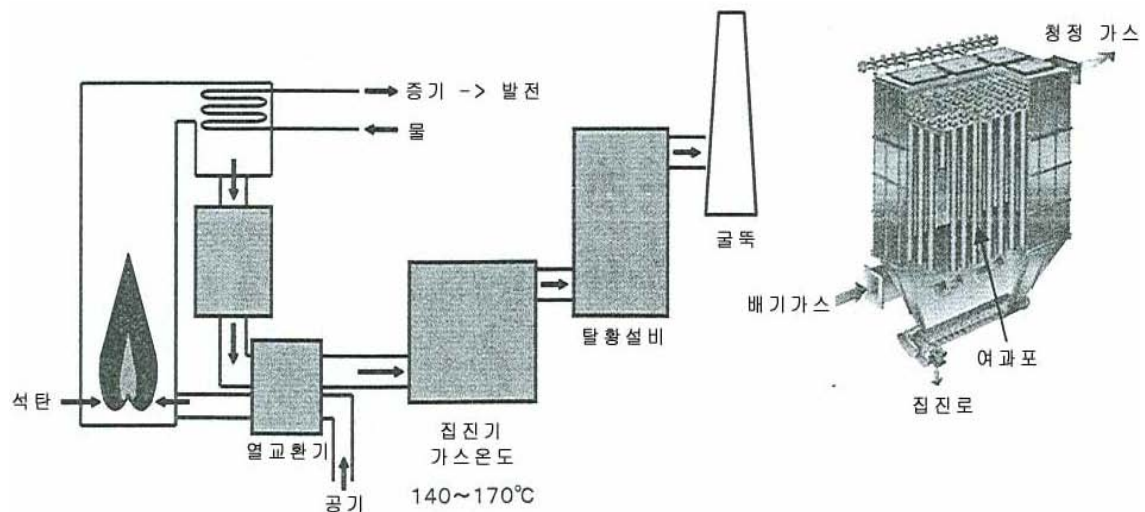


<그림 3> 상대열전도율(상) 및 공정수분율(하)

2. PPS 섬유에 실제 사용사례 및 향후 전망

PPS 섬유는 석탄화력 발전소 중심의 고온 가스 집진용 내열 백 필터로 주로 사용되고 있으며, PPS 섬유의 90% 이상이 같은 용도로 소비되고 있다. 석탄 화력 발전소에서는 보일러 효율 향상을 위해 연소로부터 배출되는 가스와 연소로 흡입되는 가스를 열교환하여 연소 온도를 높이는 방법을 일반적으로 사용하고 있다<그림 4>. 이로 인해 백 필터식 집진기에 들어가는 연소 가스의 온도는 140~170℃ 정도로 낮아져, PPS 섬유가 적용 가능한 온도가 된다. 한편, 석탄 연소에 의해 발생하는 아황산가스(SO_x), 산화질소 가스(NO_x)에 대해서도 PPS 섬유는 높은 내구성을 가지며, 화학적 취하가 어렵다. 이러한 이유로 PPS 섬유는 석탄 화력 발전소용 백 필터로서 널리 활용되고 있다. PPS 섬유가 석탄 화력 발전소용 백 필터로 사용될 때 고온, 산성가스(SO_x , NO_x), 분진, 먼지떨음에 의한 충격 등이 복합적으로 작용하는 가혹한

환경에 노출된다. 권장온도를 최대 170℃로 설정하여 각종 산성 가스에 대한 상한값을 설정하는 등, 각 회사별로 독자적인 경험에 근거하여 사용조건을 설정하는 것이 권장되고 있다. 각종 산에 의한 복합적인 작용에 대해서는 학술적인 연구 보고도 있으며, 질산 및 황산의 혼합계에서 PPS 섬유는 취화가 가속된다는 보고도 있다. 사용환경이 대기보다 질소 등의 불활성 가스의 농도가 높을 경우 PPS의 열취화가 억제된다는 보고도 있다.

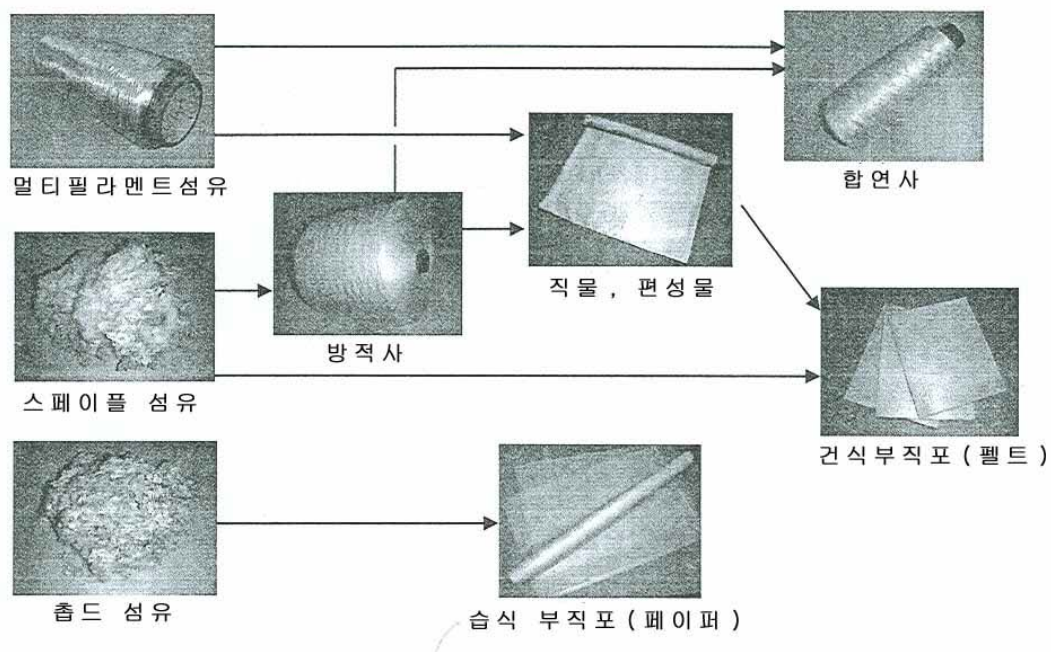


<그림 4> 석탄 화력 발전소의 개요(좌) 및 백필터식 집진기의 구조(우)

주요도인 내열 백 필터 용도로는 건식 부직포(펠트)의 형태로 사용되고 있다. 필터의 원료는 PPS 섬유를 수십 mm로 절단한 단섬유이며, 이를 부직포 제조장치를 이용하여 시트로 제조하고, 니들 펀치로 결합하여 펠트로 제조한다. 이 펠트를 원통형으로 봉제하면 백 필터가 된다.

PPS 섬유는 다양한 중간제품으로 제공이 가능하다<그림 5>. 예를 들면 부직포로서 습식 부직포(페이퍼) 형태가 가능하며, 얻어진 페이퍼는 고기능 열가소성 산업용 섬유의 특성을 가진 얇은 종이 형태로서, 두께가 50 μm 정도로 얇게 하는 것이 가능하다. 이 페이퍼는 체적저항값이 $10^{12}\sim 10^{15} \Omega\text{cm}$ 수준

이며, 전도율이 1.1~1.8 정도로서, 절연재료 용도로 사용이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 멀티필라멘트 섬유 또는 방적사에 사가공 기술을 행하여 차별화된 촉감과 외관을 가진 직물 및 편성물도 제조가 가능하다. 이러한 중간제품은 산업자재용 뿐만이 아니라 의류용으로도 적용이 가능하여 폭넓은 용도 확대가 기대된다.



<그림 5> PPS 섬유를 이용한 각종 중간제품 사례

이후의 전망과 관련하여 석탄 화력 발전소용 내열 백 필터의 최대 수요지인 중국에서 배기 기준의 재검토가 거의 확실시 되고 있다(기존 50→30 mg /m³). 따라서, 기존 전기식 집진기의 개조에 따른 수요 증가가 예상됨에 따라 PPS 섬유의 수요가 더욱 증가할 것으로 기대된다. 또한, 전기절연성, 내열성, 내약품성을 활용하여 상술한 것과 같은 전기 절연 재료 용도로도 전개가 기대된다.