

## 오늘의 한국 화섬산업(3)

### 1.3.2. PET연속중합방사기술(연중직방)[13]

폴리에스테르의 제조기술은 소규모의 배치식 상업생산단계에서 대량생산 단계를 그리고 연속중합단계에서 연중직방단계에서 연중직방단계로 약 10년 마다 획기적인 기술발전을 하여 왔는데, 오늘날 주류를 이루고 있는 기술이 연속중합 및 직접방사에 의한 섬유의 제조기술이다.

PET 연속중합 방사 시스템은 84년 이후 각 PET 제조사에 설치되어 있다. 코오롱은 1984년 2월에 1년 5개월의 개발기간을 거쳐 일산 60톤규모로, 선경인더스트리는 1985년 7월에 일산 67톤 규모로 연중직방시설을 완공하였다. 동양폴리에스터에도 개발되어 설치되어 있다. 연중직방에 비하여 폴리에스테르의 배치 생산공정은 생산의 유연성이 높기 때문에 원착사, 향필링사, 염기성 및 산성염료가염사 등과 같은 특수한 품종의 생산에는 유리하지만 배치간의 품질의 불균일성 문제를 피할 수가 없으며, 무엇보다도 설비 투자비가 많이 필요하기 때문에 경제적인 측면에서 불리하다. 연속중합방식에 있어서는 일산 30톤에서 일산 120톤으로 생산량을 4배로 증가시킬 경우 81%의 설비비의 증가가 있을 뿐이지만 배치중합방식의 경우 이와 같이 생산량을 증가시킬 경우 설비비가 153%정도 증가한다. 또한, 생산능력에 따른 설비비를 비교해보면 예를 들어 30톤, 60톤, 90톤을 생산할 경우, 배치중합공정은 연속중합공정보다도 각각 127%, 142%, 167%나 되는 더 많은 설치비용이 필요하게 되며[14], 연속중합방식에 있어서는 이와 같은 설비비의 절감과 더불어 인건비의 절감, 에너지비용의 절감에 따라 생산량이 증가할수록 단위당의 제조원가가 낮아지게 된다. 이에 따라 많은 회사들이 폴리에스테르의 제조에 있어서 연속중합방식을 채택하고 있으며, 이 방식에 의해서 생산량이 700톤/

일 이상되는 회사도 25개사가 넘고 중국에서는 1,500톤/일이 되는 회사도 있다[15].

#### (가) 연속직접중합

연속중합기술에는 TPA를 이용한 직접에스테르화공법과 DMT를 이용한 에스테르 교환반응공법을 모두 이용할 수 있는데, DMT 공법에 의한 폴리에스테르는 특수한 용도에만 사용하고 섬유용으로는 원가인 측면에서 TPA 공법을 이용한 직접에스테르화반응공법을 사용하는 것이 일반적이다.

#### (나) 직접방사기술

직접방사기술은 연속중합과정에서 합성된 균일한 중합체를 칩 제조과정을 거치지 않고 바로 방사하는 기술이다. 따라서 이 방법은 칩을 건조시키고 용융시키는 과정이 생략될 뿐 근본적으로 기존의 방사기술과는 차이가 없다. 그러나 연속중합으로부터 연속화된 공정이기 때문에 고도의 자동화가 가능하고 칩의 용융과정이 없기 때문에 고분자 용융체의 열분해, 산화분해 및 가수분해의 위험을 극소화할 수 있다는 이점이 있다. 여기서도 인건비 약 20%, 투자비 약 20~30%, 전력비 약 10% 정도 절감할 수 있는 등 유리한 점이 많은 것으로 알려져 있다[16]. 따라서 대부분의 폴리에스테르 단섬유를 제조하는 회사들은 이 방식을 채택하고 있으며, 장섬유나 산업용사의 경우에 있어서도 이 방식을 채택하여는 경향이 있다.

### 1.3.3. 방사기술[17]

일반적인 의류용 폴리에스테르 섬유의 방사기술은 주로 방사속도를 기준으로 구분되어져 왔으며 이에 따른 방사공법도 방사속도 별로 여러 단계를 거치며 발전되어왔다. 각 공법의 분류 기준 및 명칭은 연구자들에 따라 다소 차이가 있으나, 섬유의 미세구조적인 측면에서 구분한다면 방사속도

1800m/min까지를 LOY(low oriented yarn), 1800~2800m/min를 MOY(medium oriented yarn), 2800~4000m/min를 POY(partially or pre-oriented yarn), 4000m/min 이상을 HOY(highly oriented yarn)로 분류하며, 6000m/min 이상의 방사속도로 생산되는 초고속방사물을 FOY(fully oriented yarn)로 분류한다. 방사중에 방사구에서 토출되는 용융액의 평균속도에 비해 권취속도가 빠르면 섬유단면에 전단변형(shear deformation)이 일어나고 이 전단변형은 고분자쇄를 유동/변형 방향으로 배향시킨다. 그 배향의 정도는 전단변형률이 크면 더 커지고 전단변형률은 상대적인 권취상대속도가 빠르면 더 커지므로 이 결과 방사된 실의 미세구조는 권취속도가 증가할수록 분자쇄의 배열상태가 섬유축 방향으로 정돈되게 된다. 이 결과 고속방사한 실의 미세구조는 분자쇄가 섬유축으로 배향되게 되고 자연적으로 배향된 결정영역으로 형성되는 것을 짐작할 수 있다. 실제로 2000m/min의 방사속도로 방사한 미연신사는 저배향, 저결정성인 미세구조 특성을 갖는 반면, 4000m/min로 방사한 미연신사는 고배향, 저결정성을 그리고 6000m/min 이상으로 방사한 미연신사는 고배향 및 고결정성 구조를 갖는다.

또한 업계에서 통용되는 관습에 따르면, 1000~1500m/min를 UDY(undrawn yarn), 3000~4000m/min를 POY 그리고 6000m/min 이상을 HOY, FOT 또는 UHSSY(ultra-high speed spun yarn) 등으로 분류하기도 하는데, 1500~3000 m/min의 방사속도 영역은 하드웨어기술의 급격한 발달 때문에, 4500~5500 m/min의 방사속도 영역은 실의 물성이 미연신사 특성에서 연신사 특성으로 급격히 변화하는 전이구간이기 때문에 공업적으로 생산이 잘 진행되지 않고 있다.

현재 공업적으로 적용되고 있는 제조공법들 중에서 기존의 일반방사 영역인 UDY와 POY는 별도의 연신공정이 필요하나 6000m/min 이상의 초고속방

사의 경우는 방사공정만으로 연신사가 제조됨을 볼 수 있는데, 생산성과 관련한 섬유 제조기술 동향은 방사속도의 증가와 2단계공정의 1단계화의 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있다. 방사속도를 기준으로 연도별 폴리에스테르 방사기술의 발달 현황을 살펴보면 UDY는 1960년대, POY는 1970년대, HOY는 1980년대에 공업화됐음을 볼 수 있고, 현재 공업적으로는 7000m/min 수준까지 와 있다. 2000년대 초반까지는 8000 m/min 이상의 초고속방사기술이 공업화될 것으로 전망된다. 현재 국내 화섬사의 방사기술은 6000m/min 정도 까지 개발되어 있다.

그러나, 생산성 향상을 위한 방사속도의 증가 및 신공정 개발, 고부가가치 제품의 일환인 일반 극세사 제조기술 등을 공업화하는데 있어서 방사중의 사절단 발생 증가에 의한 생산성 및 품질이 저하되는 문제점이 발생하게 되므로 이들을 해결하기 위한 기술의 개발 및 다양한 연구활동이 진행되어야 한다. 특히, 극한 방사기술이 요구될수록 하드웨어 측면인 방사설비와 함께 소프트웨어 측면인 섬유고분자설계 기술을 두 기둥으로 하는 방사기술의 비중이 점점 증대되고 있으며, 그에 따름 비결(know-how) 연구와 함께 기본적인 방사현상에 대한 근본적인 연구가 필수적이다.

#### 1.3.4. 초고속방사 기술의 문제점[17]

초고속방사 공정의 특징은 앞에서 설명한 바와 같이 방사시 사 주행중 연신점과 같은(neck-like) 변형, 이에 따른 배향 및 결정화등의 연신 효과가 진행되어, 이렇게 생산된 실은 연신사의 물성 특성을 나타낸다. 그러나 연신점(necking point)에서의 섬유 변형속도는 매우 커져서 실의 절단발생 가능성이 크게 증가하게 된다. 특히, 방사속도가 증가함에 따라서 연신점과 같은 변형은 더 커진다.

섬유에 필요한 특성을 얻기 위한 방사속도는 고분자에 따라 다르다. 나일론의 경우는 5500~6000m/min 정도의 권취속도만 되면 충분하지만 폴리에스테르의 경우는 최소 6000m/min 이상이 되어야 한다. 이렇게 상대적인 권취속도가 낮아서 나일론 6의 경우는 세계적으로 많은 화섬사들이 이미 나일론 6 섬유를 HOY공정으로 생산하고 있다. 폴리에스테르의 경우는 섬유산업용 섬유를 제조하기 위해서는 나일론 6보다 훨씬 고속의 권취속도를 요구한다. 그 결과 방사중의 공기마차저항이 아주 커져 권취중 실에 걸리는 장력과 결정화 속도가 커져서 실 생산 중에 사절단이 자주 일어난다. 따라서 방사중의 결정화 속도를 늦추기 위해 넣는 첨가제나 고분자 개질, 방사방법 등이 특허로 출원되고 있다.

이렇게 보면 초고속방사 기술을 공업화하는데 있어서 기술의 핵심은 방사중에 실의 절단으로 생산성이 저하되는 문제점을 해결하는 것이 가장 중요한 점이라고 할 수 있다. 이와 관련된 연구분야로서는 적정 섬유고분자의 설계기술, 방사팩의 설계기술(조정밀 이물여과) 및 노즐의 설계, 적정 방사유제의 개발 등의 소프트웨어적인 측면과, 초고속 권취장치(winding mechanism) 개발등의 하드웨어적인 측면이 있다. 기술 확보의 경제성 및 기술 신뢰도, 국내 주변기술 수준 등을 고려할 경우 화섬사들은 먼저 소프트웨어적인 고유기술을 개발, 보유하는 일과, 국내 섬유기계 산업들에게 이러한 소프트웨어에 대응하는 하드웨어 개발을 유도하는 일을 적극 추진시킴으로써만 우리의 고유한 초고속 방사기술의 비결을 확보할 수 있겠고, 선진국들과 대등한 기술적인 경쟁력을 확보할 것으로 판단된다. 한가지 주의할 점은 초고속방사 관련 일본의 공개 특허를 조사한 결과, 섬유고분자의 설계기술이 전체 특허의 30% 이상을 차지하고 있다고 보고하고 있는 점이다. 이것은 초고속 방사 기술의 개발은 고분자의 특성으로부터 고속권취장치의 개발까지의 복합기술

인 것을 보여주고 있다.