

고성능 섬유의 방사법

1. POY-DTY 공정

용융방사(melt spinning)는 열에 의해 분해되지 않고 용융하는 고분자에 응용되는 방사법이다. 용융방사 후 아직 섬유로서의 물성을 갖추고 있지 못한 것을 미연신사(undrawn yarn)라 하는데, 이것을 다시 가늘게 인장시켜 분자의 배향을 증가시키는 것을 연신공정이라 한다. 보통의 방사속도로 방사하여 얻어진 것은 3 ~ 4 배로 연신을 해주어야 섬유로 사용이 가능하다. 반면에, 방사속도가 높아지면 방사 후에 연신이 될 수 있는 정도가 감소하는데, 이것은 방사하는 동안 분자가 자연적으로 일부분 배향되기 때문이다. 예를 들어 3,000 ~ 4,000 m/min의 방사속도로 생산된 미연신 폴리에스터사의 경우, 대략적인 연신률은 약 1.4 ~ 1.8배 정도이다. 이렇게 고속방사하여 제조된 실을 부분배향사(POY, Partially oriented yarn)라고 부르며, 부분배향사를 이용하여 연신과 가열을 동시에 행하여 제조되는 실을 연신가공사(DTY, Draw textured yarn)라고 한다. 부분배향사와 연신가공사는 주로 폴리에스터나 나일론을 고속방사하여 얻는다.

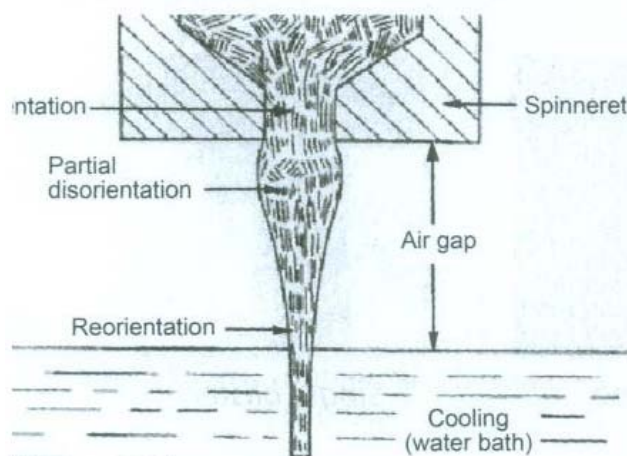
2. 초고속방사(Ultra-high-speed spinning)

초고속방사법은 주로 폴리에스터 필라멘트를 생산하는데 사용된다. 폴리에스터의 경우 6,000 m/min 이상의 빠른 속도로 방사를 하여 제조된 실은 연신을 하지 않더라도 연신사와 동일하게 응용이 가능하다. 기존의 연신사와 비교해서 열수축이 적고, 염색성이 우수하며, 부드러운 촉감 등 많은 특성을 가진다. 그러나 몇몇의 적용분야에는 적합하지 않다.

3. 액정방사(Liquid crystal spinning)

아라미드와 같은 강직한 구조를 갖는 고분자 물질들은 가열하여도 용매에 용해되거나 용융되지 않는다. 그렇기 때문에 강직성 고분자는 일반적으로 방사가 어렵다. 일반적으로 용액은 농도가 증가함에 따라 점성이 급격히 증가하다가 어떤

특정 온도나 농도 등의 조건하에서 점성이 오히려 저하되어 액체와 같은 유동성을 갖는 특수한 상태의 용액상태를 나타내는데, 이것은 분자체인이 배열하여 결정을 형성하면서 발생하는 현상이며, 이러한 상태를 액체 결정이라고 한다. 액정방사는 방사 진행될 때 결정부분이 노즐을 통과하면서 섬유축 방향으로 평행하게 배열된다. 비록 방사 직후 약간의 일그러진 부분이 발생할 수 있으나, 그 후 가해지는 장력에 의해 다시 평행하게 배열된다. 또한 방사과정에서 고분자 사슬을 보다 효과적으로 섬유축 방향으로 배향시키기 위해 방사구금과 응고육 표면 사이에 작은 기격(air gap)을 두는 방법(기격습식방사, air-gap wet spinning)이 적용된다<그림 1>. 그리고 연신은 불필요 하지만, 높은 결정성을 얻기 위해 높은 온도의 열처리가 이뤄진다. 이러한 방사과정을 액정방사라고 하며, 듀폰의 연구원인 Stephanie Kwolek박사가 1968년에 발견하였고, 액정방사를 이용하여 제조된 para-aramid 섬유 “케블라(Kevlar)”가 탄생하였다. 이러한 섬유들을 슈퍼섬유라고 하며, 고강도, 고탄성률, 내열성, 내화학성 및 난연성 등의 특성을 가진다. 또한 액정방사를 통해 제조되는 PBO(poly-para-phenylene benzo-bis-oxazole) 섬유와 Polyarylate 섬유는 폴리에스터 섬유와 비교하여 인장강도가 4~8배 증가하며, 탄성계수는 8~17배 정도 증가한다. 두 가지 섬유 모두 산업용 섬유 분야의 신소재로 중요한 역할을 하고 있다.



<그림 1> 액정방사 공정도



<그림 2> 액정방사시 분자배향의 변화 모식도

4. 겔방사 (Gel spinning)

대개 습식방사나 건식방사의 경우, 응고가 섬유 내부보다는 표면에서 빠르게 진행된다. 그러므로 균일한 방사가 이루어지지 않으며, 이 때 연신공정이 수행되면, 단면의 형태가 일그러져 계속해서 연신공정을 진행하기 어렵다. 겔방사는 용매를 다량 포함하고 있는 겔과 같은 점성이 있는 상태에서 균일한 구조를 가진 미연신사를 방사한 후, 초고배율로 연신하는 방사법이다. 폴리에틸렌(PE, polyethylene)과 폴리비닐알콜(PVA, polyvinyl alcohol)과 같이 분자쇄가 유연한 고분자는 용액내에서 분자간 사슬의 엉킴에 의해 3차원 그물구조를 형성한다. 그렇기 때문에 이러한 고분자를 겔방사할 경우 용액내에서 과도하게 높아지는 분자간의 엉킴을 막기 위해 적절히 희석된 고분자 용액을 만들어 응고욕으로 방사하여 섬유화한다. 그물구조로 용해된 고분자 용액을 응고시켜 섬유화하는 겔방사법으로 만든 미연신사는 균일한 구조를 가진다. 이 때 원형 노즐을 사용하면 섬유의 단면도 거의 원형의 모양을 가진다. 고분자량 물질로 미연신사를 만들고, 겔 형태의 구조를 열로 용해시켜 초고배율로 연신하면 극도로 높은 인장강도와 고탄성률을 가진 섬유를 만들 수 있다.

이러한 겔방사법은 현재 상업화된 초고강력 폴리에틸렌 섬유(상업명 : Dyneema)와 비닐론(상업명 : Kuraron K-II) 제조시에 사용된다.