

방사 공정

융복합섬유팀



ECO융합섬유연구원
Korea Institute of Convergence Textile

1. 중합 공정

섬유는 고분자로 되어 있으며, 합성 섬유의 경우 단량체(monomer)를 이용하여 고분자로 만들어 섬유로 이용하게 된다. 고분자로 만드는 과정을 중합과정이라고 한다.

1-1. 중합 공정

1) 원료조제 공정

원료를 고체상태에서 액체상태로 용융한 후 또는 액체상태의 원료에 각 품성에 맞도록 소광제 및 중합촉매 등을 투입하여 조제하는 공정을 말한다.

2) 중합 반응 공정

원료를 중합탑 내에 투입하여 중합을 시키며 탑 내에서의 온도와 반응시간 등의 조건에 의하여 품성이 결정된다.

3) 칩 제조 공정

중합 완료된 고분자를 용융상태로 중합탑에서 토출 급냉하고 절단기로 칩 상태로 만드는 공정을 말한다.

4) 추출 공정

중합된 고분자 속에는 미 반응 물질이 10%정도 존재하므로 이를 추출하는 공정을 말한다.

5) 건조 공정

추출탑에서 추출 완료된 칩은 다량의 수분을 함유하고 있으므로 저장소에서 대기되었다가 건조기에서 건조하는 공정을 말한다.

6) 수송공정

건조 완료된 칩을 방사 공정에 보내는 공정을 말한다.

1-2. 고 분자 생성 반응

1) 중축합 반응(polycondensation reaction)

단계 반응의 하나로, 적어도 2개의 관능기를 가진 분자가 상호 반응하여 동시에 물, 암모니아, 염산 등과 같은 간단한 물질을 방출하여 축합반응의 반복에 의하여 분자간에 새로운 공유결합을 만들어 고분자를 형성하는 반응이다.

2) 중부가 반응(polyaddition reaction)

단계 반응의 하나로, 적어도 2개의 관능기를 가진 저분자가 단순한 부가반응의 반복에 의하여 공유결합을 만들어 저분자를 동시에 부생함이 없이 수소 원자의 이동을 수반하여 고분자를 형성하는 반응이다.

3) 고중합 반응(high polymerization reaction)

연쇄반응으로 라디칼 중합과 이온 중합으로 구분할 수 있으며, 라디칼 중합은 라디칼 연쇄반응에 의해서, 이온 중합은 활성이온이 촉매가 되어 연쇄 중합을 하여 고분자를 형성하는 반응이다.

1-3. 중합 방법

1) 괴상 중합(bulk polymerization)

단량체를 그대로 또는 소량의 중합 개시제를 첨가하여 중합하는 방식으로 고분자는 덩어리로 얻어진다. 이 방법은 현탁 중합, 유화 중합에 비하여 중합이 간단하므로 중합 반응의 속도론적 연구에 많이 사용되나 공업적으로는 별로 사용하지 않는다.

2) 용액 중합(solution polymerization)

단량체를 용매에 용해시켜 중합하는 방법이며, 용매를 사용하므로 폴리머의 중합도는 다른 중합법에 비해서 낮으며, 또한 중합 속도도 일반적으로 느리다. 따라서 중합 반응 조건의 조절이 용이하고 균일하며, 중합열의 축적을 피할 수 있는 장점이 있다. 또 학문적인 연구에도 편리하다. 공업적으로는 폴리아세트산비닐계의 접착제, 폴리프로필렌, 폴리부타디엔계 합성고무, 비닐계 도료(塗料) 등에 응용된다.

3) 현탁 중합(suspension polymerization)

단량체를 용해하지 않는 매체(물)에 강하게 교반 분산시켜 현탁시키고 매체에는 불용이나 단량체에 가용인 개시제를 가하여 중합시키는 방법으로 안정제를 사용한다. 중합열이 주위의 매체에 의하여 분산되므로 온도 조절이 쉽고 균일 중합을 할 수 있다. 또 반응이 끝난 폴리머를 건조시키는 조작이 간단하므로 공업적으로 많이 사

용되는 중합 방법이다. 공업 제품으로는 발포 폴리스티렌의 비이지(beads), 폴리염화비닐의 분말, 폴리스티렌계 이온 교환 수지 등이 있다.

4) 계면 중축합(interfacial polycondensation)

산염화물과 아민의 반응과 같이 극히 빠른 반응을 고분자 생성의 기본 반응으로 하여, 용해하지 않는 용매에 용해하여 이들 용해를 혼합 접촉시키면 양용액 서로간의 계면에서 극히 단시간에 고분자가 생성되는 반응이다. 이 반응의 특징은 반응 속도가 크며, 특히 용매에 난용성인 고분자 합성에 유리하다.

5) 유화 중합(emulsion polymerization)

중합은 용매로서 물을 사용하고 용매에 불용 또는 난용성인 단량체를 미립자로 분산·유화시켜 수용성 개시제를 가하여 중합시키는 방법으로 생성 중합체는 에멀션이 되며 일반적으로 도료, 접착제 등으로 응용된다. 유화 중합에서는 중합열의 제거가 용이하므로 온도 조절이 간단하고 중합 속 및 생성 중합체의 중합도도 크다. 부 원료의 제거가 어려운 결점이 있으나 에멀전 상태대로 이용될 수 있는 제품에는 편리한 중합법이어서, 광범위하게 응용되고 있다. 공업적으로는 염화비닐, 아세트산비닐, 스티렌 등의 비닐 모노머의 중합이나 합성 고무의 제조 등에 이용된다.

1-4. 소광제 TiO_2

섬유로 사용되는 대부분의 합성섬유는 방사공정 전에 중합공정에서 고분자속에 0.03~2.0%의 TiO_2 안료(pigment)를 첨가하여 광택을 줄여준다.

Dull사는 대략 1%이상의 TiO_2 를, Semidull사는 대략 0.3~0.5%의 TiO_2 를, Bright사는 0.05~0.08%의 Anatase형 TiO_2 를 포함하고 있다. 일반 산업용으로는 2가지 형태의 TiO_2 가 사용되는데, Anatase형과 Rutile형으로서 Anatase형이 Rutile형보다 광반응에는 민감하지만 섬유의 생산 설비와의 마찰이 적기 때문에 주로 사용되고 있다.

2. 방사 공정

방사공정이란 중합된 고분자 칩을 건조, 용융, 섬유 구조물 형성, 냉각 및 연신, 권취 등 일련의 공정을 통하여 요구되는 물성에 맞는 섬유를 형성시키는 공정을 말한다. 일반적으로 건식, 습식, 용융방사법이 보편화되어 있다.



그림. 방사 공정도 (칩-용융방사-권취-사)

2-1. 방사 방법

1) 용융방사 (Melt spinning)

용융방사(melt spinning)는 열에 의해 분해되지 않고 용융하는 고분자에 적용된다. 고분자의 융점 이상의 온도에서 용융시키고 방사구의 가는 구멍으로부터 압출하고 냉각시켜 가늘고 긴 모양의 고체로 하여 권취하는 공정을 넓은 의미의 용융방사(melt spinning)라 한다. 용융 방사법으로 만들어지는 섬유는 대표적으로 나일론과 폴리에스터이다. 융점이상으로 가열하여 용융하면 유동상으로 되는데 이 유동상의 폴리머를 노즐을 통하여 압출한 후 냉각 공기 속을 통과시켜 냉각 고화시킨 후 권취 공정을 통과한 후 가늘고 긴 모양의 섬유가 얻어진다

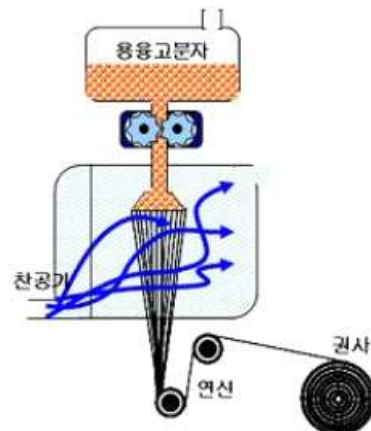


그림. 용융방사

2) 건식방사(Dry Spinning)

섬유 고분자를 쉽게 증발할 수 있는 용매에 녹인 다음 이 용액을 뜨거운 공기 속으로 압출하여 용매를 증발시켜 섬유상으로 고화시키는 방법이다. 아세테이트 섬유를 비롯하여 트리아세테이트섬유, 폴리염화비닐섬유, 아크릴 섬유(울론), 스판덱스, 아라미드 등이 건식 방사로 생산 제조되고 있다.

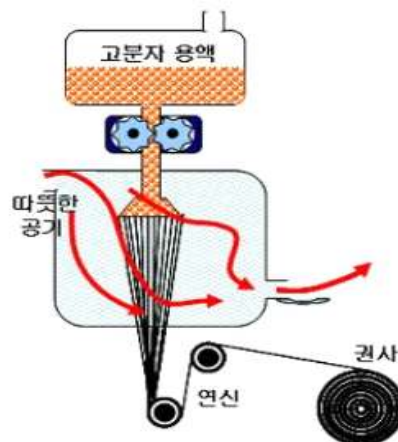


그림. 건식방사

3) 습식방사(Wet Spinning)

섬유고분자를 적당한 용매에 용해시켜 방사 원액을 만들고 이것을 응고액 중의 방사구를 통하여 압출하면 섬유고분자는 재생, 응고되어 섬유상으로 고화되는 방식이다. 섬유형성 고분자가 가열하면 용융되지 않고 분해되고 휘발하기 어려운 용매에 용해되거나 고온에서 불안정한 용매에 용해되는 경우에 습식방사를 행한다. 습식방사는 다른 방법으로 방사할 수 없는 물질을 섬유화 할 때 이용하는 방법으로 대표적인 것은 비스코스레이온, 구리아모늄레이온, 재생단백질섬유, 폴리비닐알콜(PVA), 폴리아크릴로니트릴(PAN), 폴리염화비닐(PVC) 섬유 등의 생산에 이용되고 있다.

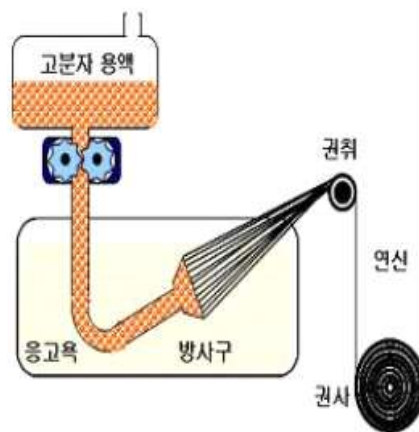


그림. 습식방사

표 1. 용융, 건식, 습식 방사법의 특징 비교

방사법	용융 방사	건식 방사	습식 방사
방사원액의 상태	용융액	용액	용액
용액의 점도 (Poise)	1,000 ~ 10,000	200 ~ 4,000	20 ~ 2,000
노즐의 크기 (mmΦ)	0.1 ~ 0.8	0.02 ~ 0.2	0.01 ~ 0.1
고화 매체	냉각공기	가열공기	응고액
고화 기구	냉각	용제의 증발	탈용매
생산 속도	빠름	보통	늦음
실용화 예	폴리에스터	아세테이트	비닐론
	나일론 6, 66	폴리우레탄	비스코스레이온
	폴리프로필렌	아크릴 일부	아크릴 대부분

2-2. 방사구(Nozzle Hole)

가열 금속 블록으로 이루어져 있으며 계량 펌프(metering pump)와 방사 팩(spin pack)이 장착되어 전체가 균일하게 가열된다. 계량된 중합체는 방사 팩에 공급된다. 방사 팩 필터를 거친 중합체는 두께 약 5~10mm의 내압원판으로 만들어진 노즐에 공급되어, 이 방사구금의 세공(orifice)으로부터 토출이 되는데, 세공은 일반적으로 원형으로 0.20~0.30mm의 직경을 가지며 길이와 직경의 비는 1:1.15나 그 이상을 갖게 된다. 필라멘트의 경우 이 세공의 수는 수개에서 수십 개가 보통이며 스테이플의 경우에는 수백에서 수만 개에 이른다.

2-3. 오일(oil) 부여공정

미연신사의 권취 시 안정성과 집속성, 평활성, 대전 방지성을 부여하는 것과 동시에 연신, 가연 등의 후처리 공정에서 실의 취급을 용이하게 하기 위해서 권취 직전에 필라멘트사에 오일을 부여한다. 오일은 회전 롤러의 표면에 오일을 픽업(pick up)시켜 롤러와 필라멘트사를 접촉시켜 부여하거나, 가이드에 오일 공급구를 설치하여 사조와 접촉점에서 공급하는 방법이 있다. 오일부여 시 오일 공급 장치와 실과의 접촉저항을 가능한 한 줄여 균일하게 오일이 부착되도록 한다.

2-4. 권취 공정 (Take up)

오일이 부여된 실은 곧바로 권취 장치에서 권취된다. 필라멘트용 권취기는 고데트 로울러(godet roller)와 권취부로 이루어져 있는데, 하나의 고데트 로울러의 사조를 여러 개의 사조로 나뉘어 권취되도록 되어 있다. 권취 속도는 보통 1,000 m/min 정도이나 최근에는 권취속도가 6,000m/min 에 이르는 것도 사용되고 있다.



3. 연신 공정

3-1. 연신 공정

방사된 미연신사(분자배향이 완전히 이루어지지 않은 실)에 최종 섬유로서 가져야 할 강도를 부여하기 위해 배향화와 결정화를 위해 연신이라는 공정을 거쳐 연신사라는 원사가 제조된다. 용융 방사한 미연신사는 섬유의 축 방향으로 분자가 규칙적으로 배열되어 있지 않고 400 ~ 500%의 신도를 갖고 있어 적은 외력에도 신장하기 쉬우며 강도도 1g/d 정도 밖에 되지 않아 그대로는 사용할 수 없으므로 3 ~ 4배 신장시켜 사용한다. 이와 같이 늘리는 공정을 연신이라고 하며, 상온에서 행하는 냉연신과 가열 하에서 신장하는 열연신으로 분류된다.



그림 2. 연신 공정 (모식도-연신기계-연신사)

연신 사(Draw Twist Yarn)는 DT의 약어로서 방사의 권취(Take Up)공정에서 미연신사(Un-Drawn Yarn, UDY)의 분자배향을 좋게하여, 결정화도를 향상시켜 줌으로 섬유의 사용 용도에 맞는 신도와 강도를 맞춰주는 공정을 말한다.

3-2. 열고정, 권축가공, 절단가공 공정

필라멘트사나 스테이플의 치수 안정성을 향상시키기 위해 연신 후 열고정을 행한다. 열고정에는 정장 열고정 또는 이완 열처리 방법이 있는데, 이 때 습도 및 이완율 등의 처리조건은 후공정의 요구사항에 따라 정해진다. 필라멘트사는 일반적으로 실의 벌키성(bulky)을 낮혀 주기 위해 권축 가공을 해주며 권축 가공은 보통 가연방법에 의해 행해진다. 최근에는 3,000m/min이상의 속도로 고속방사하여 생산된 반연신사(partially oriented yarn, POY)를 사용하여 연신과 가연을 동시에 행하는 연신-가연(draw-texturing)방법이 가연사 제조에 주류를 이루고 있다. 스테이플의

생산공정은 필라멘트사에 비해 훨씬 단순하므로 권축, 절단, 포장(baling)까지 연신에 직결되어 있다. 스테이플의 열처리는 주로 권축을 고정하기 위해서 행해지는데, 토우 상태에서 행하거나 스테이플로 절단된 후 열처리 장치에서 행해진다. 토우 상태에서 열처리한 경우는 열처리 후에 절단되며, 절단한 후에 열처리한 경우는 포장기로 보내져 포장된다. 또 방적을 용이하게 하기 위해서 오일은 절단 전후 적당하게 부여한다.

3-3. 원사의 물성평가 항목

- 1) 섬도 (Denier) : 실의 굵기를 표시하는 방법 중 하나로서 항장식에 해당된다.
- 2) 인장 강신도 : 절단강도(Strength), 절단신도(Extension) 등이 있다.
- 3) 수축율 : 수축율에는 습윤 상태로 처리 후 측정하는 비수수축율 (BWS : Boiling Water Shrinkage)과 건조 상태로 처리 후 측정하는 건열수축률(Dry Heat Shrinkage)이 있다.
- 4) 열응력 : 일정 길이로 파지하여 수축이 일어나지 못하도록 구속하게 하면 그 만큼의 저항력이 작용하는데 이것을 “열수축응력”이라고 하고 Denier로 나누었을 때의 힘을 “열응력”(thermal stress)라고 한다.
- 5) 균제도 : 단위 길이당 무게의 변동 즉, 변동수준이 얼마나 균제(균일)한가를 나타내는 척도이며 U%로 나타낸다.
- 6) OPU(Oil Pick-Up) : Oil Pick-Up은 대전방지, 평활성 부여 및 집속성 향상을 통해 작업성에 크게 기여한다. Oil Pick-Up 불량은 생산 시 작업성 저하는 물론 경사줄 발생에도 직접적으로 관련되므로 관리상 중요 항목 중의 하나이다.
- 7) 제품외관 형상 : 반듯하고 흐트러짐없는 케이크의 형태를 가져야 한다.

출처 : TEXEYE (www.texeye.net)