

폴리에스터 섬유시대

- 폴리에스터 섬유공업의 전환기(2) -

2. 생산성 향상과 관련된 생산 기술의 변천

2.1 DMT 배치 중합 – DUY 방사 시스템

소규모로 생산을 시작한 우리 나라 최초의 폴리에스터 섬유 생산업체였던 대한 화섬의 부산공장은 방사 이후의 공정만으로 가동되었으며 방사 원료인 PET 수지는 미국이나 일본으로부터 수입하여 사용하였다.

우리 나라 최초의 폴리에스터 스테이플 파이버 생산 공장이었던 대한화섬 부산 공장의 생산 시스템을 요약하여 <표 5>에 나타내었다.

<표 5> 대한합성섬유의 최초 가동당시 방사공정 생산 시스템

구 분	1.5데니어	3데니어
(방사공정)		
방사속도(m/분)	575	554
방사데니어	1,865	1,955
멜트헤드당 일생산량(파운드)	1,520	1,530
스피넷렛당의 필라멘트 수	280	140
편의 크기(파운드) (연신, 열처리, 권축공정)	30	30
크릴당 필라멘트의 수	480	480
연신 토우의 데니어	201,600	201,600
연신속도(m/분)	36	36
열처리속도(m/분)	30	30
연신기당의 일산 처리 능력	2,130	2,130

(절 단)		
컷터에 공급되는 토우의 데니어		403,200
컷터의 일산 처리 능력(파운드)		12,000

동 공장에는 중합공정이 없었으며 방사 이후의 공정만으로 가동되었다. 방사속도는 550m/분으로 저속이었으며 편(Pim) 상태로 권취된 뒤 크릴(creel) 시스템에 편을 설치하여 토우(tow)로 만들고 토우 상태에서 연신, 열처리를 행하고 그루그루절단기(Gru-Gru cutter)로 균일하게 절단하여 면이나 모와 혼방할 수 있는 스테이플 파이버 2종(1.5데니어/1.5인치, 3.0데니어/3.0인치)을 생산하는 공정으로 이루어져 있었으며 방사기술이 어느 정도 습득된 후 중합공정을 설치하는 방법을 생각하고 있었다.

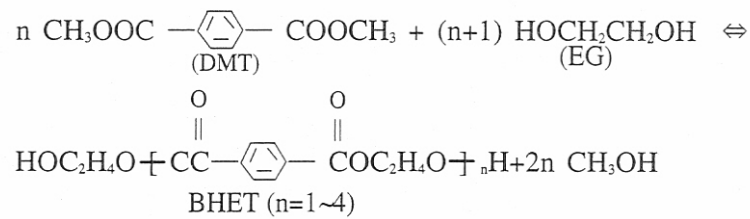
삼양사의 중합시스템도 최초에는 소규모 생산에 적합한 배치 시스템을 채택하고 중합 후 건조과정을 거쳐 방사공정으로 공급하는 중합과 방사공정이 분리된 생산 시스템이 채택되었다.

1960년대 말에는 순수한 테레프탈산(terephthalic acid ; TPA)을 얻기 어려웠으므로 중합 출발물질은 디메틸테레프탈레이트(dimethyl-terephthalate : DMT)와 에틸렌글리콜(ethylene glycol; EG)을 사용하여 중합은 에스테르 교환반응과 축중합의 2단계를 거쳐 PET 수지를 얻는 방법이 채택되었다.

DMT와 EG를 출발물질로 하여 비스 히드록시에틸렌 테레프탈레이트(bishydroxyethylene terephthalate : BHET)를 합성하는 반응을 에스테르 교환반응이라 하며 통상 이 방법을 통해 PET수지를 합성하는 방법을 DMT법이라 부르기도 한다.

DMT법에 의한 중합도 연속중합 시스템에서 행해지는 경우도 있으나 소량생산의 경우 주로 배치중합기에서 중합이 행해진다.

에스테르 교환조와 축중합조의 두개의 반응조는 직렬로 연결되어 있다. 에스테르화 반응조에 DMT를 투입할 때 용해시간을 감소시키고 반응계의 균일성을 유지시키기 위해서 150℃로 가열하여 용융상태로 한 다음 EG와 함께 투입한다.



에스테르 교환반응(DMT법)

DMT 용융은 별도의 용융장치에서 행한 후 그 곳에 보관하였다가 에스테르 교환 반응조로 공급하며, 보관시 열산화 방지 및 가수분해 방지를 위해 질소와 같은 불활성가스의 분위기로 유지하며 에스테르 교환 반응조로 공급하기 전에 필터를 통과시켜 이물질 제거한다.

에스테르반응은 보통 160~220℃에서 이루어지며 반응이 진행됨에 따라 메탄올(methanol)이 생성되는데 생성되는 메탄올은 콘덴서(condenser)를 사용하여 응축시켜 회수하며 회수된 메타놀의 양을 조사하면 반응의 진행정도를 파악할 수 있다.

EG/DMT의 몰비는 보통 1.1~2.0으로 조절하며 촉매로서 Mn, Zn, Mg, Pb, Co등의 아세테이트염이 사용되는데 촉매 농도는 DMT 1몰에 대하여 $1 \sim 2 \times 10^4$ 몰이 유효한 것으로 알려져 있다.

이와 같은 에스테르 교환반응에 의해서 생성된 BHET는 질소 압력을 이용하여 필터를 통하여 중축합반응기로 보내진다. 이 때 얻어지는 BHET는 올리고머(Oligomer)로서 중합도 1~4 정도이다. DMT법이나 TPA법으로 얻어진 BHET의 중축합반응은 서로 동일한 것이므로 일괄해서 뒤에서 설명하기로 한다.

중합이 완료되어 얻어진 PET는 질소압으로 중축합기에서 토출된 뒤 물로 냉각시키고 칩 형태로 절단한 뒤 감압 건조시켜 방사장치의 최상층부에 설치된 저장통에 보관된다. 칩은 건조된 뒤에는 대기와 접촉되지 않는 상태에서 보관되며 잘 건조된 질소분위기 하에서 보존된다.

용융방사시의 가열에 의한 칩의 열산화 및 가수분해를 방지하기 위하여 건조된 칩을 함수율은 엄격하게 관리되어야 한다. 칩 저장통(chip storage tank)에서 칩은

중력에 의해 용융장치인 멜트 헤드(melt head)로 공급되며 멜트헤드는 다우섬(Dowtherm)과 같은 비열이 큰 열매로 가열된다.

용융된 PET는 멜트 풀 펌프(melt pool pump)와 미터링(metering) 펌프를 거쳐 일정한 유속을 유지하면서 스핀 팩(spin pack)으로부터 공기 중으로 토출되어 냉각되면서 일정한 회전속도를 유지하는 고넷 롤러(godet roller)에서 방사속도는 1000m/분 이하로 조절되면서 권취된다.

스핀 팩은 와이어 클로드(wire cloth), 모래 등의 여과용 충전재, 다공판, 섬유의 단면형상을 결정하는 스피너렛(spinnerette)으로 구성되어 있다. 스피너렛의 세공의 형태에 따라 섬유의 단면형상이 결정되므로 스피너렛은 매우 정교하게 만들어져 있어야 한다.

스테이플 파이버를 만드는 경우가 정전기 방지, 집속성과 유연성을 부여하기 위해 권취 직전에 유제를 첨가한다. 권취 장치는 회사에 따라 다르나 편(pirm)형태로 하기도 하고 캔(can)에 담기도 한다.

방사공정에서 생산된 필라멘트 다발은 미연신사(undrawn yarn : UDY)로 섬유로서 바로 사용할 수는 없으며 연신공정에서 4~5배의 연신을 받고 열처리된 후에야 비로소 섬유로서의 성능을 발휘할 수 있다.

스테이플 파이버의 경우는 위에서 말한 바와 같이 편이나 캔에 담겨 있는 미연신 필라멘트사를 모아서 토우(tow) 상태로 만들며 필라멘트사의 경우는 필라멘트사 별로 연신을 행한다.

스테이플 파이버의 경우는 토우를 선속도가 다른 두 개의 롤러 사이에서 4~5배 연신한다. 폴리에스터의 2차 전이점은 상온보다 높으므로 연신시 가열할 필요가 있는데 가열은 주로 표면접촉식 롤러나 스팀분사법을 이용한다.

연신을 거친 토우는 열안정성을 부여하기 위해서 열처리를 행한 후 권축을 주기 위해서 크림퍼(crimper) 공정으로 보내진다. 폴리에스터 섬유에 권축을 부여하는 방법에는 여러가지가 있으나 스테이플 파이버의 경우는 주로 스템핑 박스(stuffing box)법이 이용된다.

권축공정이라 함은 연신과 급유가 끝난 토우에 권축을 부여하는 천연섬유와 같

은 촉감과 양호한 방적성을 부여하는 공정이며 이 단계를 거친 토우는 자동 건조기에 의하여 건조된 후 절단공정으로 넘겨진다. 절단기에서는 로터 디스크(rotor disk)가 스테이플의 용도에 맞는 길이로 절단하여 스테이플 파이버로 만들고 계량, 포장하여 출하한다.

필라멘트사의 경우 연신의 원리는 스테이플과 동일하나 필라멘트사의 최종용도가 스테이플과 다르기 때문에 엄격한 품질관리하에 필라멘트사 가닥 별로 연신을 행하는데 연신기는 면방적 공정의 링 정방기(ring spinning frame)와 비슷한 기구를 가지고 있어서 연신 후 권취할 때 꼬임을 갖게 된다.

꼬임의 정도는 1m당 수십회 정도이고 스핀들(spindle)의 회전속도는 1960년 이전에는 3,000rpm 권취속도는 분당 200~300m 정도이었으나 1960년대에 들어 권취속도가 1,200m~1,500m에 이르러 크게 생산성이 향상되었다.

이와 같은 의류용사를 제조하기 위한 연신 기술은 후에 타이어 코드, 산업용 굵은 데니어 필라멘트사에 이용되었으나 1970년대에 대두된 POY(partially oriented yarn)-DTY(draw textured yarn) 연신공정 생략화 기술에 의해 대체되었다.

2.2 TPA를 출발물질로 하는 중합공정(TPA법)

PET 중합에는 매우 순도가 높은 TPA가 요구되나 순도를 향상하기 위한 정제가 곤란하므로 폴리에스터섬유 산업의 초기에는 정제가 용이한 DMT를 출발물질로 한 중합이 행해져 왔다.

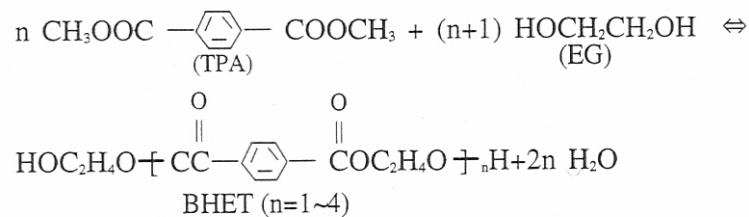
DMT는 정류, 재결정화 등의 방법으로 용이하게 정제될 수 있으며 또 EG에 용해되므로 반응은 균일계에서 일어나는 장점이 있다. 그러나 TPA에서 DMT로 메탈화하는 한 단계가 더 존재하므로 주원료의 원단위에서 불리하다.

알려진 바로는 TPA법에서도 생성된 메탄올을 회수하여 재 사용하는 일관체제를 갖출 경우에는 TPA법과 비교할 때 원단위에 큰 차가 없다는 주장도 있다.

순수한 TPA의 획득이 쉬어짐에 따라 국내의 폴리에스터 섬유 메이커들은 중합 방법도 출발물질로 TPA와 EG를 사용하는 직접 에스테르화법(TPA법)으로 바꾸었다. 또 생산규모가 증대되고 원가절감의 필요성이 증대됨에 따라 중합은 연속중

합, 연중직방 방식이 채택되기 시작하였다.

현재는 거의 TPA와 EG를 출발물질로 하는 연속중합이나 중합과 방사공정이 직결되어 있는 직방의 생산 시스템이 채택되고 있으며 DMT를 출발물질로 하는 DMT법에 의한 배치중합은 최초 공장 설립 당시의 장치를 사용하여 특수한 용도에 이용되는 소로트의 PET(예를 들면 DMT법에 의한 폴리에스터 접착제 등) 또는 PET의 공중합수지, 폴리부틸렌테레프탈레이트(polybutylene terephthalate;PBT)수지 등의 생산을 위해 사용되고 있다. TPA법에는 TPA와 EG가 직접 에스테르화 반응을 일으켜 BHET가 생성된다.



직접 에스테르화법(TPA법)

DMT법에서는 에스테르 교환반응에 촉매가 필요하나 TPA법에는 TPA 자신의 촉매의 역할을 하므로 촉매를 첨가할 필요가 없다.

DMT법에서는 응용된 DMT와 EG가 액상-액상 반응계를 이룸에 대해 TPA법에서는 고상-액상의 불균일계 반응이므로 반응의 제어에 어려움이 있으며 반응속도가 늦고 글리콜 간의 에테르화 반응만을 생각할 때 TPA법에서는 증발잠열이 큰 물을 제거해야 하므로 메타놀을 배출하는 DMT법에 비해 에너지 측면에서는 불리한 점도 있으나 이제는 TPA법이 주류를 이루고 있다.