

합성섬유 제조 공정의 로울러 단사 자동제거장치 개발

1994. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방기술의 연구개발 및 보급 사업의 일환으로 수행한 “합성섬유 제조공정의 로울러 단사 자동제거장치개발” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1994. 12. 31

주관연구부서: 산업안전연구원
기계전기연구실

연구수행자: 선임연구원 김 기 식

머 리 말

합성섬유는 현대 의생활뿐만 아니라 여러 산업 분야에서 널리 쓰이는 재료로, 업계에는 고품질의 소재를 만들기 위하여 연신의 양을 늘려 점점 더 가는 실을 만들어 내려고 노력하고 있습니다. 이 과정에서 필연적으로 발생하게 되는 단사는 생산 차질을 빚게 하고 제품의 질을 저하시키게 하며 방치하여 두면 연신 로울러 축을 파괴시킬 수 있습니다. 합성섬유 제조공정에서 이 단사 발생을 억제하는 문제는 아주 오래된 문제로 효과적인 대책이 제시되지 못하고 있는 실정이며 단사 발생 상태를 감시, 제어하는 것이 연신 공정에 근무하는 작업자의 주요 임무 중의 하나로 단사 제거 과정에서 손가락이 절단되는 경우가 빈발하였고, 심한 경우에는 팔이 연신 중인 로울러에 말려 부상 또는 사망하는 사고가 있었습니다.

이에 우리 연구원에서는 단사를 조기에 자동으로 제거하는 방법을 연구하여 근로자의 안전을 도모하고 생산성을 향상시키고자 물 제트를 이용한 방법을 제시하였으며 실험을 통하여 그 실용성을 입증하였습니다. 또한 기존의 브리시를 이용한 방법을 개선하여 저렴한 가격으로 기존의 방법보다 단사 발생을 더 효과적으로 억제할 수 있는 방법도 제시하였습니다. 본 보고서에서는 섬유의 연신 공정 중의 단사 제거를 대상으로 하였지만 이 방법은 로울러기에 의한 사고의 주종을 이루고 있는 로울러 이 물질 제거 공정을 자동화하는 방법으로 응용이 가능할 것으로 생각하며 이 방법으로 로울러에 의한 산업재해의 예방에 기여할 수 있게 되기를 바랍니다.

본 연구의 수행에 도움을 주신 관련 전문가 및 업체 관계자 여러분께 감사드리며, 보고서에서 미진한 사항이 발견되거나 더 좋은 의견이 있을 경우 연구자에게 알려주시면 큰 도움이 될 것입니다.

1994. 12. 31.

산 업 안 전 연 구 원 장

목 차

1. 서론	1
2. 단사의 발생	5
2.1 단사의 발생 메커니즘	5
2.2 단사 제어 방법	9
3. 단사 제어 방법	13
3.1 물 제트에 의한 방법	13
3.1.1 물 제트의 일반 사항	13
3.1.2 실험 및 고찰	18
3.1.3 설계 예	24
3.2 이동 브러시에 의한 방법	29
4. 결과 및 고찰	33
5. 결론	35
참고문헌	37

1. 서론

폴리에스터 합성 섬유의 제조 공정은 중합, 방사, 연신, 안정화 및 포장의 단계를 거치게 되는데, 중합은 액체 상태의 섬유 원재료를 만들어 내는 공정을 말하며, 방사는 액상의 원재료를 가는 구멍을 통하여 밀어내면서 굵은 실의 형태로 만들어 내는 공정이고, 연신은 방사를 통하여 제조된 굵은 실을 적당한 온도와 인장력을 가하여 늘려 가늘게 만드는 과정을 말한다.

이러한 공정 중, 연신 공정에서는 실을 여러 개의 로울러를 통과하도록 절고 섬유가 진행함에 따라 로울러 사이의 상대 회전속도를 증가시켜 인장력을 가하게 되는데 (사진 1) 연신이 과도하거나, 재료가 불 균일하거나, 열의 분포가 적합치 못하거나 하는 경우에는 신연 중인 섬유의 일부 가닥이 끊어지게 된다. 업체에서는 섬유의 굵기가 가늘수록 고가의 제품이 되므로 연신률을 높이려 하고 있는데 이 또한 섬유가 더 잘 끊어지게 되는 원인이 된다.

이와 같이 끊어진 실가닥이 로울러에 붙어 감기기 시작하면 후미에 따라오는 실 가닥은 정상적으로 진행하지 못하고 계속하여 로울러에 감기게 되는데 이렇게 로울러에 감기고 있는 실더미를 “단사” 또는 “단사절”이라 한다.

단사를 조기에 발견하여 제거하지 않으면 감긴 부분이 기하급수적으로 커지게 되며, 이는 제품의 질을 저하시키게 되고, 이를 그대로 방치하여 두면 로울러 축이 파단 되는 경우도 발생한다.

그러나 단사를 제거하기 위하여 연신을 중단할 경우, 라인 상에 있는 모든 제품은 물론이고 재 가동 후 연신 속도가 일정 값에 도달할 때까지 공정 상에 있게 되는 모든 제품이 못쓰게 될 뿐만 아니라 단사 발생이 잦을 경우 생산 차질을 피할 수 없게 된다.

따라서 단사가 발생하지 않도록 하거나 로울러에 쌓여 커지기 전에 제거하는

것이 매우 중요하며 로울러의 단사 발생 상태를 감시하는 것이 연신 공정에 근무하는 작업자의 주요 임무 중의 하나이다.

합성섬유 제조공정에서 단사 발생을 억제하는 문제는 아주 오래된 문제로 효과적인 대책이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

과거에는 단사가 발생하여 어느 정도 커지면 로울러의 회전속도를 제품의 질을 떨어뜨리지 않는 한도 내에서 최소로 낮추고 수공구를 이용하여 제거한 후 속도를 정상 상태로 올리도록 하였으나 단사 제거 과정에서 단사의 일부가 근로자의 손가락에 말리며 손가락이 절단되는 경우가 빈발하였고, 심한 경우에는 팔이 연신 중인 로울러에 말려 부상 또는 사망하는 사고가 있었다.

안전 의식이 향상되면서 현재에는 단사를 제거할 때 반드시 로울러를 정지시키고 수공구를 이용하여 제거하도록 작업 표준을 정하여 놓고 있다. 로울러 표면에 브러시를 강력하게 밀착시켜 놓아 발생된 단사가 로울러에 감기는 것을 억제하고 있는 경우도 있으나 완전하지 못하고 또 로울러 구동 모터에 과부하를 발생시키는 요인이 되고 있다. 그래도 발생하는 단사는 그대로 두었다가 일정량 이상이 감기면 라인이 순차적으로 속도를 낮추어 결국 정지되도록 하고 수공구를 이용하여 제거하도록 하고는 있다.

그러나 근로자의 입장에서 보면, 로울러가 회전하고 있는 상태에서 단사를 제거하는 것이 기계를 정지시키고 제거하는 것보다 훨씬 용이할 뿐만 아니라 항상 생산량에 압박을 받게 되므로 로울러가 정지하지 않고 회전하는 중에 제거하려고 하는 유혹을 받기 쉽다.

물론, 중합 및 방사 공정 등 연신 앞 공정에서 생산되는 제품의 질을 높여 단사가 발생하지 않도록 하는 것이 가장 좋은 방법이며 이러한 노력을 기울이고 있으나 소비자의 기호가 고급화됨에 따라 연신공정 이전 제품의 질이 높아진다고 해도 그만큼 연신량을 늘리려 하므로 쉬운 일이 아니다. 여기서는 연신 공정 이전에서의 관리에 의한 단사 발생 억제 방안은 논외로 하기로 한다.

섬유가 끊어졌다 하더라도 그 선단이 로울러 표면에 붙어 정상 궤도를 이탈하지 않는다면 단사는 발생하지 않게 된다. 단사의 발생은 끊어진 섬유의 선단이 로울러 표면에 부착되어 로울러의 회전을 따라 감기기 시작해야 발생하며 이렇게 섬유가 부착되는 현상은 실과 로울러 표면 사이의 정전기나, 연신 중 섬유가 서로 유착되지 않도록 하기 위하여 사용하는 유제에 의한 표면장력 등 여러 가지 요인에 의하여 생기는 것으로 생각되고 있다. 끊어진 섬유의 선단이 로울러에 부착되지 않도록 하기 위한 몇 가지 방법이 제안, 시도되었으나 그리 성공적이지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 연신 공정에서 발생된 단사가 계속하여 로울러에 감겨 그 크기가 커지는 것을 방지하기 위하여 로울러에 감겨져 그 크기가 커지고 있는 단사를 조기에 자동으로 제거하는 방법을 연구하여 근로자의 안전을 도모하고자 하였다.

로울러에 감긴 단사를 제거함에 있어 가장 중요한 것은 로울러는 상하게 하지 않고 단지 섬유만을 절단 혹은 제거하여야 한다는 것이다. 실제로도 로울러를 정지시키고 단사를 제거하는 경우에 가장 어려운 부분이 바로 이 부분이며 숙련이 필요한 실정이다.

최근에 들어 초고압 기술이 발전함에 따라 상용화된 물 제트를 용이하게 쓸 수 있게 되었다. 물 제트는 높은 수압의 물을 노즐을 통과시켜 얻은 고속의 물줄기로 공작물을 가공하는 기술로 통상, 물을 분사할 때 연마제를 섞어 고경도의 난삭재를 절삭하거나 표면에 붙은 이물질을 제거하는데 이용되고 있다. 본 연구에서는 물 제트의 성질 중, 연삭재나 물의 압력을 조절함에 따라 경도가 약한 재질을 선별적으로 절단할 수 있다는 데에 착안하여 섬유만을 제거하면서 로울러에는 영향을 주지 않을 수 있게 하여 단사 제거를 시도하였으며 실험을 통하여 그 실용성을 입증하였다.

또한 아직은 물 제트 시스템이 고가이므로 브러시를 이용한 방법을 개선하여 저렴한 가격으로 기존의 방법보다 단사 발생을 더 효과적으로 억제할 수 있는 방법

을 제시하였다.

본 연구에서는 합성 섬유인 폴리에스터 섬유의 연신 공정 중의 로울러 표면에 붙은 섬유 가닥의 제거를 대상으로 하였지만 여기서 제안된 방법은 로울러기에 의한 사고의 주종을 이루고 있는 로울러 표면의 이 물질 제거 공정을 자동화하는 한 가지 방법으로 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

2. 단사의 발생 및 제거 방법

2.1 단사의 발생 메커니즘

폴리에스터 섬유의 제조 공정은 그림 1에서와 같이 중합, 방사, 연신, 가공, 및 포장의 단계를 거치게 되는데, 중합은 TPA (Terephthalic Acid) 나 DMT (Dimethyl Terephthalate) 와 EG (Ethylene Glycol)를 주원료로 하여 여러 가지 물질을 첨가하여 반응시켜 액체 상태의 섬유 원재료를 만들어 내는 공정을 말하며, 방사는 액상의 원재료를 수천 개의 구멍을 통하여 밀어내면서 굵은 실의 형태로 여러 가닥의 묶음으로 만들어 내는 공정이고, 연신은 방사를 통하여 제조된 굵은 실을 모아 적당한 온도와 인장력을 가하여 늘려 가늘게 만드는 과정을 말한다.

이러한 공정 중, 연신 공정에서는 사진 1에서와 같이 방사된 실 100~170만 가닥을 여러 개의 로울러를 통과하도록 걸어 놓고, 로울러에 열을 가하면서 섬유가 진행함에 따라 로울러간의 상대 회전속도를 증가시켜 로울러 표면과 방사된 섬유 사이의 마찰력으로 인장력을 가하여 연신을 하게 된다.

로울러는 직경이 약 300 mm, 폭이 1,000~1,400 mm 정도이고 내부에 스팀을 통과시켜 표면을 통하여 섬유에 열을 가하게 된다. 처음에는 로울러 상의 외주 속도를 약 50 m/min 정도(Jog Speed)의 낮은 속도로 하여 방사된 섬유 가닥을 로울러에 걸고 차츰 속도를 올려 최저 연신 속도인 170 m/min에서부터는 정상적으로 성형된 제품을 얻을 수 있게 되며 정상 연신 속도인 250~280 m/min 까지 올려 작업하게 된다. 이때 섬유에 걸리는 인장력은 수 천 Kg에 달하게 된다.

방사된 섬유의 연신 중에 국부적으로 연신의 양이 과도하거나, 재료가 균일치 못하거나, 열의 분포가 적합치 못하거나 하는 경우 등 여러 가지 요인에 의하여 연 중인 섬유의 일부 가닥이 끊어지게 된다. 섬유의 굵기가 가늘수록 고급 제품이

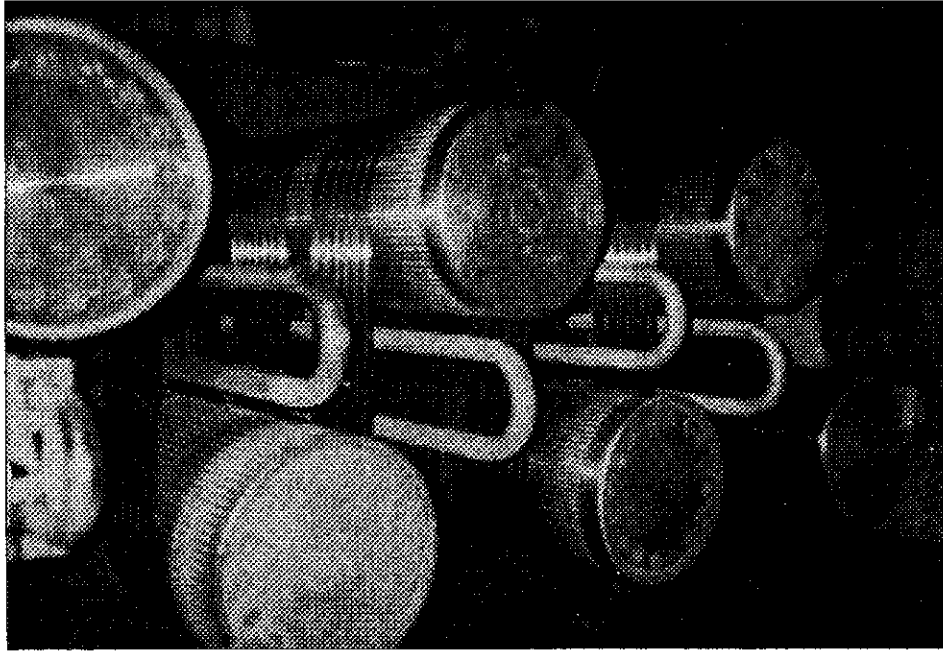


사진 1. 연신기

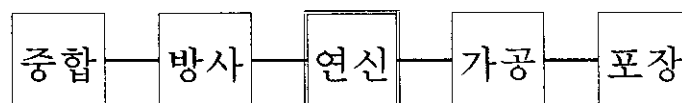


그림 1. 합성 섬유 제조 공정

되므로 부가가치를 높이기 위하여 연신의 양을 크게 하려는 업체의 의도도 섬유가 끊어지는 현상을 부추기게 된다. 끊어진 섬유의 일부는 로울러에 감기게 되는데 이와 같이 끊어져 로울러에 감겨 단사가 발생하게 된다. 일단 로울러에 감겨진 실

가닥의 후미는 정상적으로 진행하지 못하고 계속하여 로울러에 감기게 된다.

단사를 발견하여 제거해 주지 않으면 뭉어진 섬유가 감긴 부분이 커지게 되면서 정상적으로 진행하고 있는 섬유 가닥조차 물고 들어와 로울러에 감기게 되므로 감긴 부분이 어느 순간 급작스럽게 커지게 되어, 생산량에 차질을 빚게 되고 제품의 질을 저하시키게 될 뿐만 아니라, 결국에는 로울러 축이 파단 되는 사고로 이어질 수 있다.

연신은 어느 정도 속도 이상이 되어야 정상적인 제품이 성형되는데 단사를 제거하기 위하여 연신을 중단할 경우, 중단 시에 연신공정 상에 있는 모든 제품은 물론이고 단사 제거 조치 후 재 가동해서 연신 속도가 최저 연신 속도에 도달할 때까지 공정 상에 있게 되는 모든 제품을 버릴 수밖에 없어 단사 발생이 잦을 경우 생산 차질을 피할 수 없게 된다.

따라서 단사가 로울러에 쌓여 커지지 않도록 제어하고, 더 큰 문제를 야기시키기 전에 이를 제거하는 것이 매우 중요하다. 따라서 연신 공정에 근무하는 작업자는 로울러의 단사 발생 상태를 감시하는 것이 주요 임무 중의 하나이다. 현재 연신 공정은 대부분 자동화되어 있어 달리 근로자의 노동력이 필요한 것이 많지 않으며, 따라서 연신 라인에는 라인 당 근로자 1~2명이 근무하게 된다. 이들이 연신 로울러를 포함한 수십 개의 로울러를 감시하여야 하는데 이는 매우 지루한 작업이다.

단사가 발생하여 어느 정도 커지면 과거에는 로울러의 회전속도를 제품의 질을 유지시킬 수 있는 한도인 최저 연신 속도까지 운전속도를 낮추고 수공구를 이용하여 제거한 후 다시 속도를 정상 상태로 올리도록 하였으나 제거 과정에서 단사의 일부가 근로자의 손가락에 휘감기며 손가락이 절단되는 경우가 빈발하였고, 심한 경우에는 단사를 제거하다 팔이 연신 중인 실과 로울러 사이에 말려 부상 또는 사망하는 사고가 있었다. 현재에는 반드시 로울러를 정지시킨 상태에서 수공구를 이용하여 단사를 제거하도록 작업 표준을 정하여 놓고 있다.

로울러 표면에 브리시를 강력하게 밀착시켜 놓아 뭉어진 섬유의 선단이 브리시

에 걸리도록 하여 로울러에 감기는 것을 억제하는 방법이 이용되는 경우도 있으나 단사 발생을 완전하게 방지하지 못하고 또 브러시의 밀착력 때문에 로울러 구동 모터에 과부하를 발생시키는 요인이 되고 있다. 브러시를 이용하는 경우에 단사가 발생되면 그대로 두었다가 일정량 이상이 감기어 브러시가 로울러로부터 떨어지게 되면 이를 감지하여 라인이 순차적으로 속도를 낮추어 정지되도록 하여 칼과 같이 날카로운 수공구를 이용하여 절단하도록 작업표준을 정하여 놓고 있다.

로울러가 회전 중인 경우에 단사를 제거할 때에는 로울러 표면을 보호하기 위하여 대나무 등과 같이 경도가 로울러에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 만들어진 수공구를 이용한다. 로울러가 회전하는 중에는 어느 정도 커진 단사 더미를 수공구로 걸어 계속하여 가볍게 당겨 주면, 감겨진 단사 더미가 로울러의 회전에 따라 조금씩 근로자 측으로 당겨져 움직여 나오게 되어 결국 로울러를 이탈하여 바닥에 떨어지므로 쉽게 제거할 수 있다. 그러나 로울러를 정지시키고 단사를 제거하는 경우에는 날카로운 금속제 칼로 단사를 절단하게 되는데 칼에 의하여 로울러 표면이 상하게 될 수 있어 숙련이 필요할 뿐 아니라 단사 발생 부위가 근로자로부터 먼 거리에 있는 경우에는 작업이 매우 어려워진다.

그래서 근로자의 입장에서 보면, 로울러가 회전하고 있는 상태에서 단사를 제거하는 것이 기계를 정지시키고 제거하는 것보다 훨씬 힘이 덜 들고 용이할 뿐만 아니라 생산량에 압박을 받게 되므로 로울러가 정지하지 않고 회전하는 중에 제거하려고 하는 유혹을 받기 쉽다.

2.2 기존의 단사 제어 방법

현재 이용하고 있는 단사 발생을 제어하는 방법은 크게 두 가지로 대별될 수 있다. 하나는 끊어진 실 가닥이 로울러를 타고 돌지 못하도록 억제하는 방법이고 또 하나는 발생한 단사를 절단하여 제거하는 방법이다.

발생된 단사를 제거하기 위하여 사용되는 방법으로 수공구를 이용하고 있다. 정형화되어 있는 작업 표준에 의하면 근로자는 단사의 발생을 계속 감시하다가 발생한 단사의 크기가 위험한 수준에 도달하였다고 생각되면 기계를 정지시키고 칼과 같이 날카로운 수공구를 이용하여 단사를 절단하여 제거하도록 하고 있다. 물론 이와 같이 기계를 정지시킨 상태에서 단사를 절단하여 제거하면 안전할 수 있다.

그러나 앞 절에서 언급한 바와 같이 정지된 상태에서 제거하는 것이 운전 중에 제거하는 것보다 훨씬 어려우며 생산량에 대한 압박 등으로 최저 연신 속도 하에서의 단사 제거에 대한 강한 유혹을 받게 된다. 과거에도 물론 이러한 작업 수칙이 없었던 것은 아니지만 많은 사고 사례가 운전 중에 단사를 제거하는 것이 목인 또는 방조된 상태에서 행해지고 있었다는 것을 대변해 주고 있다고 할 수 있겠다.

현재에는 근로자 및 사용자의 안전 의식이 향상되어 사업주는 근로자가 운전 중에 단사를 제거하기 위하여 쓰는 공구를 가지고 있지 못하도록 아예 치워 없애 버리고 또 근로자는 이러한 안전 수칙에 따라 작업하는 것이 일반화되어 가고 있는 것으로 생각되지만 아직도 일부의 근로자는 운전 중의 제거에 대한 유혹으로 로울러 회전 중에 단사를 제거하기 위한 공구를 만들어 감추어 두고 있는 실정이며 따라서 사고의 발생 가능성은 아직도 엄존하고 있다고 볼 수 있다.

연신 중인 섬유 가닥이 끊어진다면 해도 그 선단이 로울러에 부착되지 않고 정상적으로 연신되고 있는 다른 섬유에 묻혀 진행 방향을 따라 가면 단사가 발생하지 않아 문제될 것이 없으며, 로울러에 부착되더라도 로울러를 타고 넘어가 로울러에

감기지 못하도록 막아 주면 품질에 이상이 없으며 생산량에도 문제를 거의 발생시키지 않게 된다.

이와 같이 끊어진 섬유 가닥의 선단이 로울러에 부착되어 로울러를 타고 넘어가 감기는 것을 방지하기 위한 방법으로 로울러 표면에 브러시를 밀착하여 놓는 방법이 있다. 이는 로울러 표면에 부착된 끊어진 섬유의 선단이 회전하면서 브러시에 걸려 더 이상 로울러에 감기지 않게 하는 것이다. 일단 브러시에 걸린 가닥은 더 이상 로울러를 따라 돌지 못하고 뒤 따라 진행하여 오는 실은 브러시 앞에 쌓이게 된다.

이 부위는 통상 1 가닥만 쌓이는 것이기 때문에 커지는 속도가 매우 느리고 실제의 경우 그대로 방치하고 있으며 문제를 일으키지 않고 있다. 어떤 경우에는 이렇게 끊어져 쌓이고 있던 실 가닥의 뒷 부분이 정상적으로 진행되는 다른 실에 물려 정상 궤도를 따라가게 되기도 하는데, 그러면 쌓여 있던 실 뭉치가 역으로 서서히 풀리면서 없어지기도 한다.

그러나 끊어져 로울러에 부착된 섬유의 선단이 모두 브러시에 걸리는 것은 아니다. 로울러 표면의 정밀도에는 한계가 있어 표면에 작은 요철이 있다. 이 요철의 크기는 브러시 솔 가닥에 비하여는 매우 크지만 섬유 가닥은 요철부에 묻혀 통과할 수도 있기 때문에 로울러와 브러시 사이를 아무리 잘 밀착시켜도 섬유가 통과할 수 있는 공간은 남아 있게 된다. 그래도 브러시와 로울러의 접촉면적을 늘리고 이 공간을 줄여 끊어진 섬유 가닥이 브러시에 걸릴 확률을 높이기 위해서는 브러시와 로울러 표면의 접촉 면적을 크게 하여야 하므로 브러시와 로울러를 강력하게 밀착시키게 된다. 그러나 이는 외팔보 형태의 로울러에 수직 하중을 가하는 것으로 로울러의 운전시 진동 문제를 야기시키게 되고, 또한 로울러와 브러시 사이의 마찰력으로도 작용하게 되어 결국 로울러 구동의 부하로 작용하게 된다. 실제로 브러시를 이용하는 경우 로울러 구동 모터에 과부하가 걸리는 문제 때문에 브러시의 밀착력을 증가시키는데는 한계가 있다.

만일 이 섬유 가닥의 선단이 일단 브러시 솔 가닥 사이의 빈 공간을 관통하여 지나가고 나면 그 섬유 가닥의 뒷부분은 계속하여 같은 경로로 따라오며 브러시를 통과하여 로울러에 감겨 단사를 발생시키게 된다. 이렇게 단사가 발생되고 나서 단사의 크기가 점점 커지게 되면 브러시를 로울러 표면에서 밀어내게 되어 브러시의 효과를 약화시키게 되며 이를 방치하고 있게 되면 브러시를 로울러에서 완전히 분리시키게 되고 마침내 브러시 부착 부위를 파손시키게 된다. 따라서 브러시가 로울러 표면에서 어느 정도 떨어지게 되면 이를 감지하여 경보를 발하고 속도를 낮추어 작업자가 육안으로 확인하여 어떠한 조치를 취할 것인가를 결정할 수 있도록 하고 그보다 더 떨어진 것으로 감지되면 브러시 부착부위가 파손되지 않도록 기계가 자동으로 정지하도록 하여 작업자가 단사를 제거할 수 있도록 하고 있다.

단사는 연신 중에 소성 영역에 진입하였다가 연신이 중단된 상태이므로 수축을 하게 되어 로울러 표면에 강력하게 밀착되어 있으므로 이의 제거 과정에서 가장 주의하여야 할 사항은 로울러 표면이 상하지 않게 하는 것이다. 기존의 방법은 단사를 제거하기 위하여 로울러 표면에 어떤 방법으로든 접촉하게 되며 이때 접촉하는 물질이 금속인 경우 로울러 표면을 상하게 하기 때문에 적용이 곤란하다. 따라서 금속보다 훨씬 경도가 약한 재질을 접촉시켜 문제를 해결해야 할 것이며 이러한 이유로 대나무 등으로 만들어진 수공구를 이용하는 것이다.

끊어진 단사의 선단이 로울러에 부착되어 올 때 압축공기로 불어 로울러와 떨어지게 하는 방법도 있다. 이 방법은 단사발생 억제에는 어느 정도 효과가 있으나 과도하게 로울러를 냉각시켜 제품의 질을 현저하게 저하시키므로 현재는 사용치 않고 있다. 또 다른 방법으로 단사를 제거하는데 레이저를 쓰는 것도 고려해 볼 수 있으나 이는 레이저에 의하여 로울러 표면이 다칠 수 있고 또 스프레이가 날리는 환경임을 감안하면 레이저가 효과적으로 유지되지 못할 뿐만 아니라 로울러 표면이 거울 면으로 작용하여 빛을 반사하므로 새로운 위험을 가져올 수 있다.

본 연구에서는 로울러와 단사는 강도의 차이가 많이 난다는 기계적 특성을 이

용하여 로울러 표면에 물 제트를 분사, 단사는 절단하면서 로울러 표면은 상하지 않게 하는 방법을 제3장에서 제시하였다.

그러나 물 제트 시스템의 가격이 아직은 높은 편이며 초기투자가 많이 드는 단점이 있어, 가격 면에서 저렴하고 기존의 고정된 브러시로 이용한 방법을 개선하여 브러시를 왕복운동시킴으로서 로울러와 브러시 사이의 접촉선의 빈 공간을 줄일 수 있도록 하고 발생된 단사의 정렬 상태를 교란시켜 브러시에 걸리게 함으로써 단사를 보다 효과적으로 제어할 수 있는 방법을 4장에서 제시하였다.

여기서 제시한 방법이 항상 완벽하다고는 할 수 없지만 고정브러시와 물 제트 시스템을 병용하는 등에 의하면 거의 완벽하게 단사를 제거할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 단사 제어 방법

3.1 물 제트에 의한 방법

3.1.1 물 제트의 일반 사항

물 제트 기술은 고압의 물을 노즐을 통과시켜 나오게 하여 고속의 물 제트가 공작물에 부딪히는 충격에 의하여 공작물이 침식되어 절단 또는 세척 등에 이용한 기술로 1969년 미국 일리노이 대학의 Norman Franz에 의하여 처음 소개되었다. Franz는 실험을 통하여 음속의 약 2배 정도의 속도로 분사되는 물 제트가 칼과 같은 예리한 절단력이 있음을 보였다. 그는 또 이 물 제트에 연마제를 첨가할 경우 두꺼운 콘크리트나 공구강 등의 난삭재를 한번에 자를 수 있음을 보였다.[1]

물 제트 장치는 기본적으로 원하는 압력으로 물을 가압하는 고압 발생 장치와 이를 고속의 제트로 만들어 분사하기 위한 노즐 부위(그림 2)로 나뉘어진다.

물 제트를 만들어 내기 위해서는 수 천 기압의 초고압 기술이 필요한데 70년대 이후에 초고압 기술이 눈부시게 발전함에 따라 현재에는 약 4,000 bar 정도의 압력으로 물을 연속적으로 가압할 수 있는 펌프가 실용화되어 있다. 노즐의 팁 부분은 보통 경화강, 인조 사파이어나 다이아몬드 등과 같은 초경재를 사용하여 제작하며 노즐 직경은 대개 1.0 mm 이하이다. 이 두 가지 중요 부분을 개발하여 상업적 가치를 가진 제품이 80년대 초에 미국에서 탄생하였으며 이후 이 기술은 단시간 내에 보급되어 영국, 독일 일본에서도 개발, 생산 판매하게 되었다. 우리 나라에서도 80년대 말에 세계적으로 다섯 번째 물 제트의 개발에 성공하여 제작하게 되었다.

물 제트 기술은 물을 사용하는 것이 최대의 장점으로 기존의 절단 기술이 갖지 못하는 다음과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다.

- (1) 절단면의 파손, 열변형, 변형 잔류 응력이 거의 없다.
- (2) 열이 발생치 않으므로 발화 및 화재, 폭발의 위험이 있는 장소에서 이용 가능하다.
- (3) 노즐 직경이 작아 절단 여유가 적다.
- (4) 분진, 가스 발생이 없어 작업 환경이 우수하다.
- (5) 노즐을 쉽게 움직일 수 있어 비교적 자유로운 형상 가공이 가능하다.
- (6) 후처리 시간이 감소한다.

그러나 아직은 가격이 비교적 비싼 편에 속하며, 노즐이 가늘어 분사 길이가 길어짐에 따라 절삭력이 급격히 감소하는 단점이 있다. 그렇지만 이렇게 절삭력이 급격히 작아지는 것은 안전의 측면에서 큰 장점이기도 하다.[2]

물 제트의 응용 기술은 아직 많이 개발되어 있지는 않은 형편이며 제트를 직선 형태로 분사하여 물건을 절단하거나 부챗살 모양으로 분사하여 넓은 표면을 청소하는데 주로 이용되고 있으며 그 용도는 다음과 같다.[3]

- (1) 절단
 - 금속의 절단
(철, 알루미늄, 티타늄, 수퍼알로이 등)
 - 고경도 난삭재의 절단
(콘크리트, 세라믹, Kevlar 등)
 - Ductile한 재료의 절단
(옷감, 고무, 플라스틱, 종이 등)
 - 장기(간)의 수술*
 - 수중 절단, 방사능 분위기에서의 절단

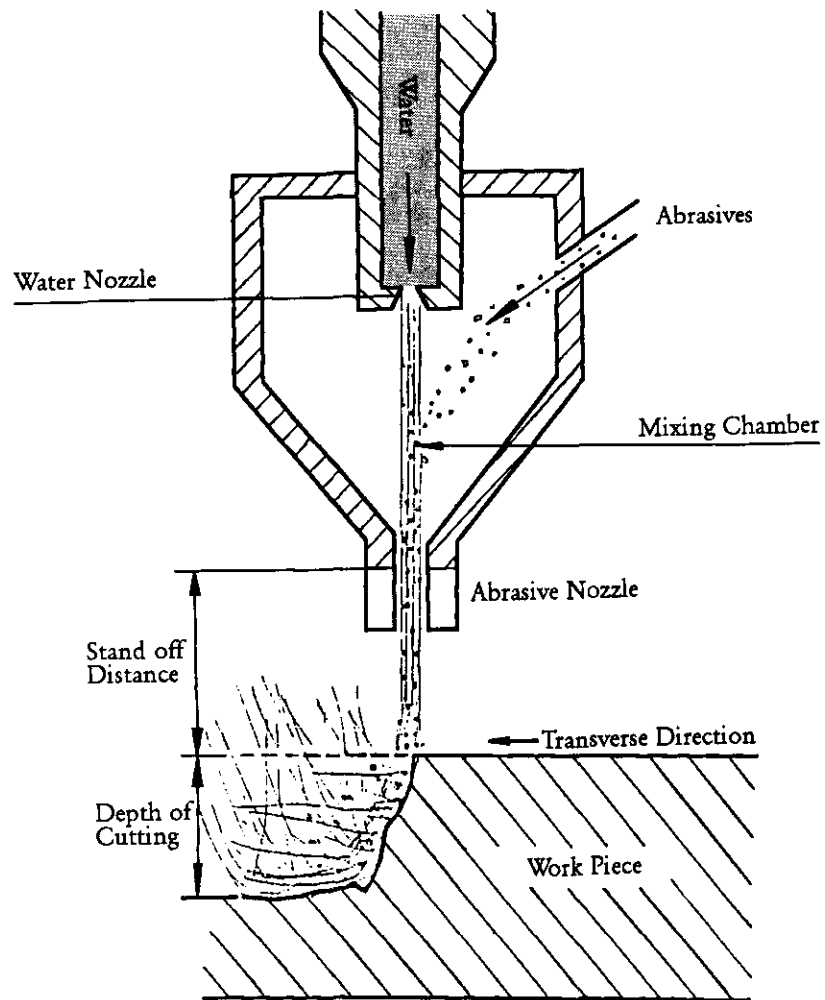


그림 2 노즐형상

(2) 표면 처리

- 반도체 부품의 Deflashing
- 페인트 제거

현재로서는 금속이나 고경도의 난삭재 절단이나 종이, 옷감, 플라스틱과 같은 연성이 큰 재 재질의 절단과 반도체 후처리 공정에 쓰이고 있는 실정이다.

금속이나 난삭재를 절단할 때는 물 제트에 순수한 물만 가지고는 잘 절단되지 않으며 연마제를 첨가하여 분사하여야 한다. 그러나 고무, 종이 옷감 등과 같은 무른 재질들은 물만을 분사하여도 훌륭하게 절단되며 절단면이 다른 가공방법에 비하여 깨끗하다. 또 초콜릿 등과 같이 물을 사용하는 것이 곤란한 경우에는 식용유와 같은 유체를 물 대신 사용할 수도 있다.

향후 물 제트의 응용 분야로써 흥미를 끄는 것으로 간의 수술에 응용한 사례가 있다.[4] 간에는 수많은 혈관이 있어 간 조직을 절개하는 외과 수술시 현재로서는 혈관도 절단할 수밖에 없었으나 물 제트의 압력을 적절히 조절하면 조직 강한 혈관은 절단되지 않고 간 조직만 절단되어 출혈을 적게 하고 수술이 가능한 것이다.

본 연구에서는 물 제트의 이러한 성질, 즉 압력을 조절함에 따라 경도가 약한 재질만을 선별적으로 절단할 수 있다는 데에 착안하여 로울러 단사 제거를 시도하게 되었다. 즉 연마제를 첨가하지 않고 로울러 표면에 붙어 있는 폴리에스터 섬유에 물 제트를 연마제를 첨가하지 않고 적당한 거리에서 적당한 수압과 수량으로 분사하면 재질이 약한 폴리에스터는 절단이 되지만 표면 처리되어 재질이 강한 금속제인 로울러에는 영향이 없다.

물 제트를 이용하여 효과적으로 절단하기 위해서는 최적의 운전 조건을 선택하여야 하며 이 때의 운전 변수들은 실험을 통하여 축적되어야 한다. 물 제트에 의한 절단에 관련된 운전 변수들은 아래와 같이 정리할 수 있다.

(1) 유압 변수

- 제트 토출 압력
- 노즐의 직경 및 노즐 어셈블리 형상

(2) 절단 변수

- 공작물의 이송 속도
- 노즐과 공작물과의 거리
- 공작물에 대한 제트의 입사 각도
- 분사 횟수

3.1.2 실험 및 고찰

물 제트를 이용하여 폴리에스터 섬유 단사를 제거함에 있어서 실제로 회전 중인 로울러 상에서 적용하는 것이 가장 바람직한 방법이겠으나 대체적인 절삭 변수를 미리 결정하기 위하여 예비 시험이 필요하다. 이 예비 시험을 하기 위하여 실제 연신 공정에서의 섬유 상태와 비슷한 조건을 만들어 줄 필요가 있으며 본 연구에서는 이러한 목적으로 섬유의 기계적 성질을 측정하여 보았다.

먼저 하중-신연 관계를 알아보았다. 시험기는 섬유 인장 시험기를 사용하였으며 이 시험기에 적합한 시편을 만들고 또 1가닥 당의 하중으로 환산하였다. 시험은 가닥 수를 미리 알고 있는 긴 섬유 묶음으로부터 적당한 길이만큼 잘라 낸 후 그 중량을 측정하고 시험기의 하중 용량을 고려하여 묶음 중의 일부 가닥을 분리하여 다시 중량을 측정하고 그 비례에 따라 섬유 가닥 숫자를 추정하였다. 본 시험에서는 11만 가닥의 섬유 묶음으로부터 대략 1만 가닥 정도를 분리하여 시험하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 항복점을 지난 후에는 하중의 증가 없이 신연만 증가하는 탄성-완전 소성의 성질을 가지고 있으며 신연을 정지시키고 있으면 하중이 감소하고 다시 신연을 가하면 항복점이 상승하는 가공 경화 현상을 보여주고 있다.

물 제트로 섬유를 절단할 때에는 섬유에 어느 정도 장력이 걸려 있어야 하며 만일 장력이 없으면 섬유의 위치가 고정되지 않고 물줄기에 의하여 쉽게 움직이게 되어 잘 절단되지 않는다. 따라서 실험의 절차상 1차 항복을 지난 후 신연을 정지시키고 어느 정도의 시간이 지나도 장력이 걸려 있어야 한다. 여기서는 35%의 신연을 가한 후 신연을 정지시켰을 때 시간의 흐름에 따른 하중의 변화를 그림 4에 나타내었다. 이 시험은 만능 시험기를 이용하여 11만 가닥의 섬유 묶음을 시편으로 실시하였으며 25 % 신연 및 40 % 신연을 가한 후 신연을 정지하고 하중의 변

화를 보았을 때도 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있었다.

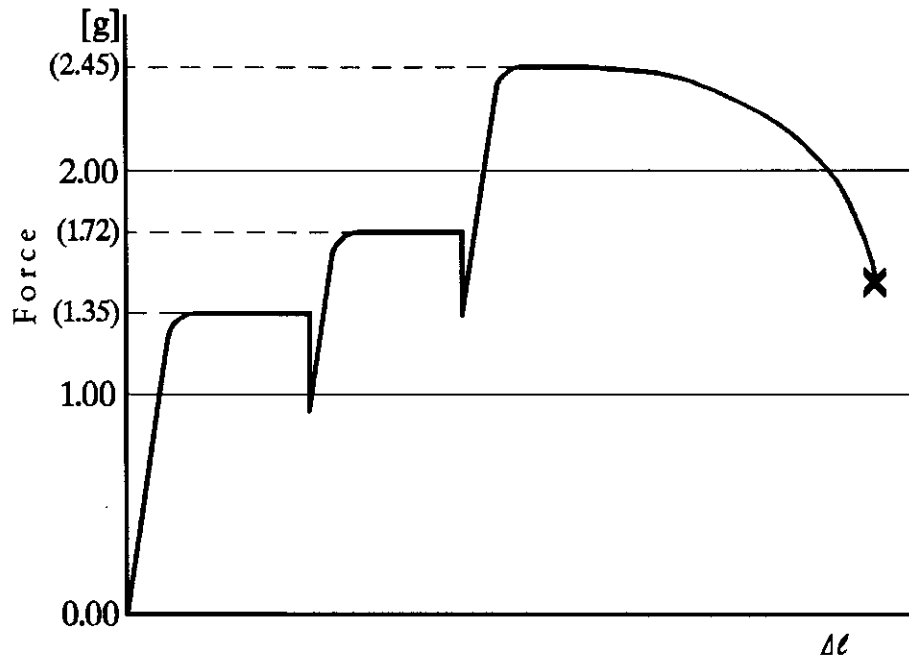


그림 3 하중-신연 곡선

위의 실험 결과를 토대로 물 제트를 이용한 폴리에스터 섬유 절단을 시도하였다. 실험은 사진 2와 같은 장치를 만들어 실시하였다. 이 장치는 섬유 묶음이 로울러 위에 좌우 대칭이 되도록 걸고 나사 잭을 돌려 신연할 수 있는 장치이며, 11만 가닥의 섬유 묶음을 걸어 팽팽하게 긴장된 다음부터 30~35 % 정도의 신연을 가한 후 고정시키도록 되어 있는 장치이다. 실험 여건 상 실제 상황과 같이 계속하여 정상적으로 이동하고 있는 섬유 가닥에 의하여 팽팽하게 유지된 채 감겨진 단사를 만들어 낼 수 없어 로울러가 회전하지 않는 상황에서 실험하였다. 그리고 물

제트의 노즐이 이 장치에 있는 로울러 위를 길이 방향으로 움직이면서 물을 분사하여 절단을 시도하였다.

최적 변수는 실제 상황에서 얻어야 할 것이며 본 연구에서는 물 제트의 적용 가능성을 제시하고자 하였다.

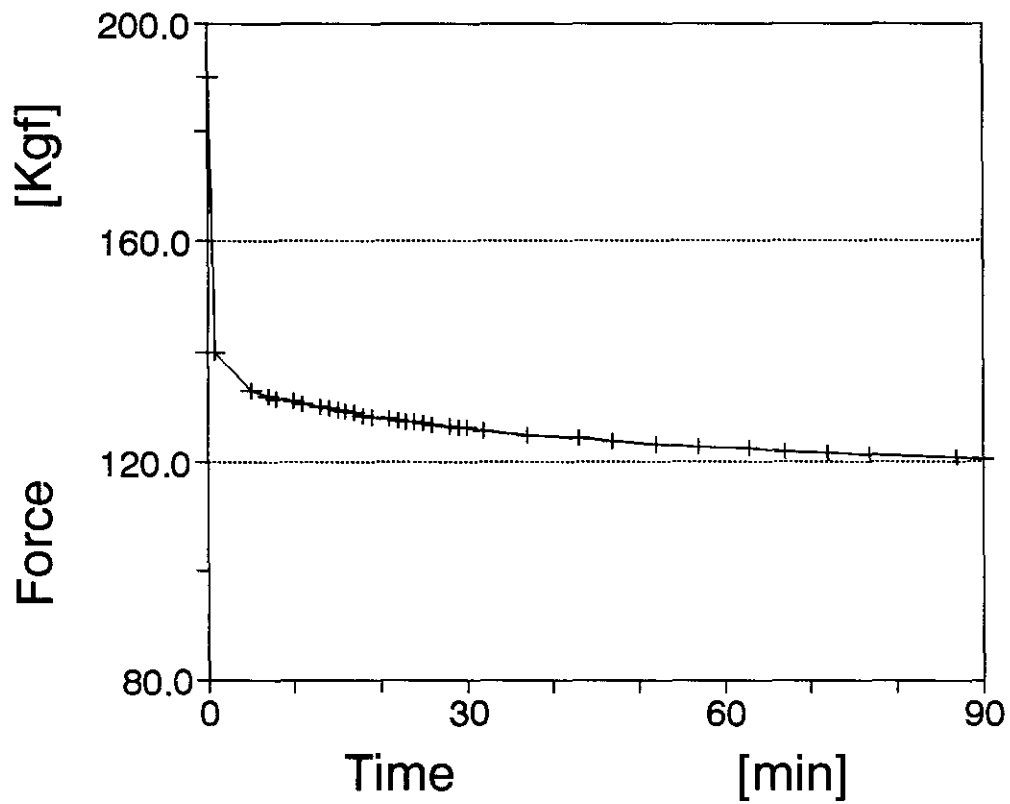


그림 4 하중-시간 변화곡선

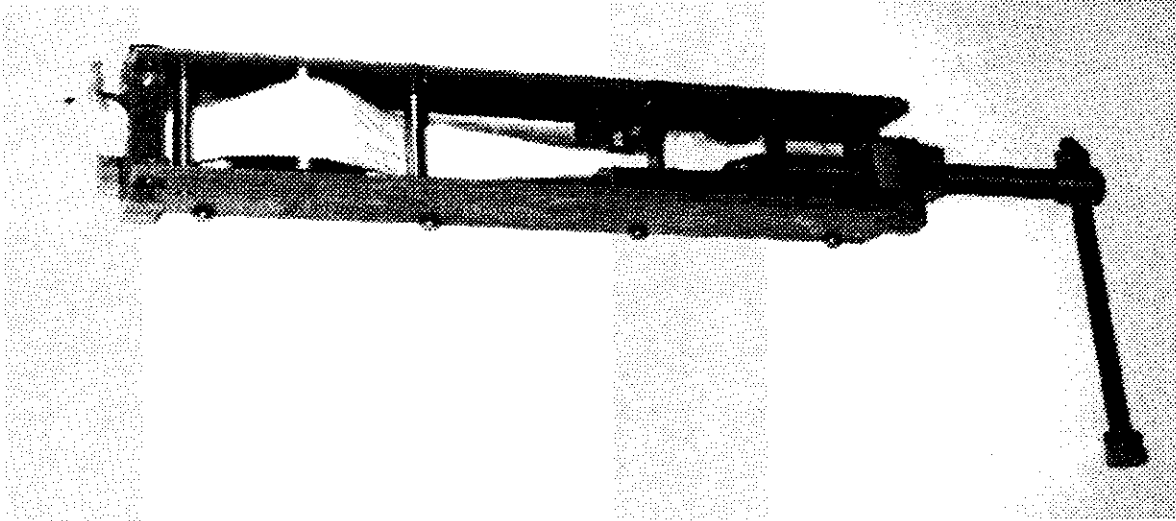


사진 2 물 제트에 의한 단사 절단 실험장치

이때 연마제 등의 첨가제는 사용치 않았고 절단 변수는 수압, 노즐 직경, 입사각, 주행 속도로 하였으며 다음과 같은 범위의 변수를 조합하여 1차로 실험을 실시하였다.

- (1) 압력 (1200~2500 Bar)
- (2) 노즐 직경 (0.125~0.25 mm)
- (3) 주행속도 (1.8~6.4 m/sec)
- (4) 입사각 (90 ~ 30 °)
- (5) 입사 거리 (15mm)

절단 성능은 공작물에 부딪히는 물 제트의 충격량의 지배를 받게 될 것이다. 압력 및 노즐 직경이 클수록 또 노즐의 주행 속도가 느릴수록 단위 면적당의 질량이 커지게 되며, 물 제트가 노즐을 통과한 후 공기와의 마찰에 의하여 그 속도가 급격히 감소하므로 입사거리가 짧을수록, 그리고 압력이 높을수록 제트의 속도가

커지게 된다. 즉 절단 성능은 압력 및 노즐 직경이 클 수록, 입사 거리가 짧을수록, 그리고 주행 속도가 느릴수록 좋아진다.

그러나 입사거리를 제외하고는 절단 성능을 높이기 위한 것은 모두 생산성을 낮추게 되는 것이 된다. 따라서 최소한 폴리에스터 섬유를 절단할 수 있으면서 압력은 낮추고 노즐 직경은 작게 하며 주행 속도는 올릴 필요가 있다. 물 제트에 의한 절단 메커니즘이 알려져 있으면 이런 변수의 결정이 비교적 쉽게 이루어 질 수 있겠으나 아직은 이 것이 잘 알려져 있지 않고 또 이에 대한 경제적 관점에서의 실험적 자료도 거의 없는 상태이며 특히 폴리에스터 섬유에 대하여는 더욱 그러하다.

통상적으로 물체를 절단하고자 할 때에는 물 제트가 공작물에 직각으로 분사되는 경우 즉, 입사각이 90° 인 경우에 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으나 본 실험에서는 90° 인 경우에 오히려 잘 절단되지 않는다. 특히 로울러 표면에 가까이 있는 섬유가 잘 절단되지 않는다. 이는 실험의 목적 상 단사는 절단하되 로울러 표면은 다치지 않도록 압력을 조절하였기 때문에 물 제트가 90° 로 분사되면 입사 후 로울러에서 반사된 물이 섬유의 절단을 방해하는 것으로 추정된다. 결론적으로 다른 절삭 변수의 변화와 관계없이 입사각은 45° 일 때가 항상 최적이었다.

물 제트는 그 성질상 노즐을 빠져 나와 분사되면서 공기 저항에 의하여 그 속도가 급격히 감소하는 관계로 입사거리가 매우 중요한 변수로서 절단 성능은 항상 입사거리가 가까울수록 좋다. 그러나 본 실험에서 사용된 노즐은 철판 등의 절단용으로 공작물을 통과하여 절단되도록 만들어 진 것이기 때문에 물 제트가 공작물에 직각으로 입사하는데 적합한 형상을 하고 있어 입사각이 직각이 아닌 경우에는 입사 거리를 단축하는데 제한이 있었다. 45° 인 경우 약 15 mm 정도의 입사 거리를 갖게 된다.

따라서 실질적인 절단 변수로 수압, 노즐직경, 주행속도 의 세 가지를 고려하여 2차 실험을 실시하였다.

실험 과정에서 예를 들면 압력 1,700 bar, 노즐 직경 0.25 mm, 주행 속도 6.0

m/sec 일 때는 완전히 절단되며 압력 1,500 bar, 노즐 직경 0.18 mm, 주행 속도 4.8 m/sec 일 때는 몇 가닥 절단되지 못한 섬유가 남아 있었는데 단사 제거를 위하여 45° 의 경사를 갖는 노즐을 제작하여 분사한다면 압력과 노즐 직경을 줄여도 되고 주행속도를 높여도 절단이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서의 실험장치는 로울러를 연강으로 제작하였는데 2,500 bar에서는 이 로울러 표면에 계속적으로 한 점에 물 제트를 분사하여도 로울러 표면에는 아무런 흔적을 남기지 않고 있다. 실제의 로울러는 강으로 제조되어 있고 또 크롬 등으로 도금하는 등 표면이 강하도록 처리하였으므로 훨씬 더 큰 압력을 가할 수 있을 것이며 따라서 더 쉽게 단사가 절단될 수 있을 것이다.

본 실험에서는 로울러가 회전하고 있다는 사실이 무시되었다. 이 부분은 실제 상황에서의 검증이 필요한 부분으로 생각된다.

3.1.3 설계 예

그림 5는 물 제트에 의한 단사 제거 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 1개의 물 제트 펌프에 여러 개의 노즐을 연결시키고 노즐은 단사의 제거가 필요한 로울러에 각각 1 개씩 구비한다.

물 제트를 이용한 단사제거 시스템에서 로울러와 노즐부위는 그림 6과 같이 설계할 수 있을 것이다. 그림 6의 (b)에서 보는 바와 같이 길이 방향에 대한 입사각은 45° 이고 로울러의 회전에 대응하여 끊어진 단사가닥이 다시 로울러 표면에 부착되지 않고 공중에 뜨게 할 수 있도록 단사가닥의 진행방향에 대하여 그림 6의 (a)와 같이 어느 정도의 입사각을 주는 것이 바람직할 것이다. 본 연구에서는 이 각도의 결정을 하기 위한 실험을 하지 못하였으며 실용화 단계에서 설치 후 최적조건을 찾아야 할 것으로 생각된다.

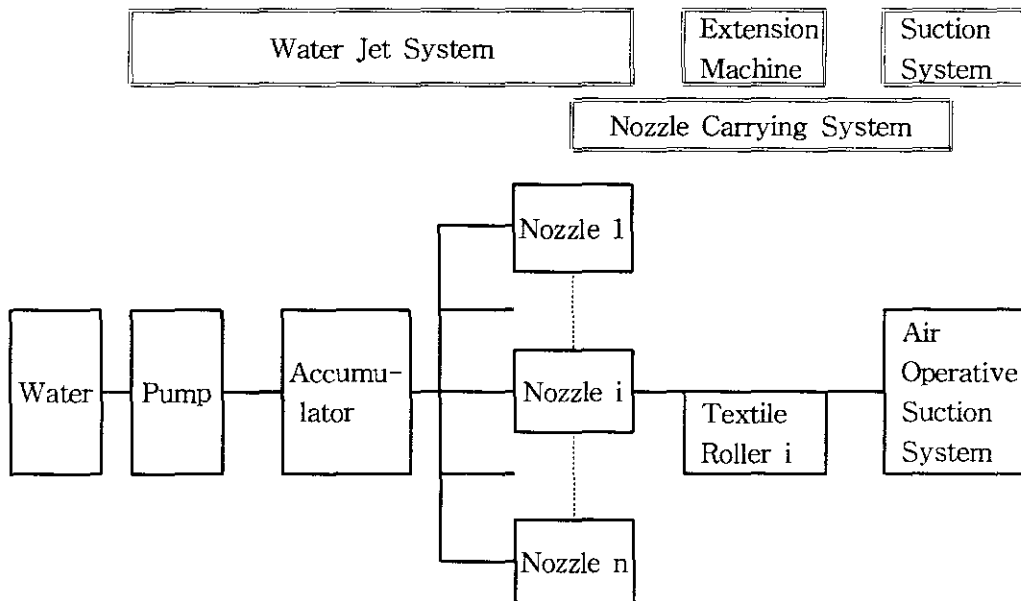


그림 5 물 제트에 의한 단사 제거 시스템 개략도

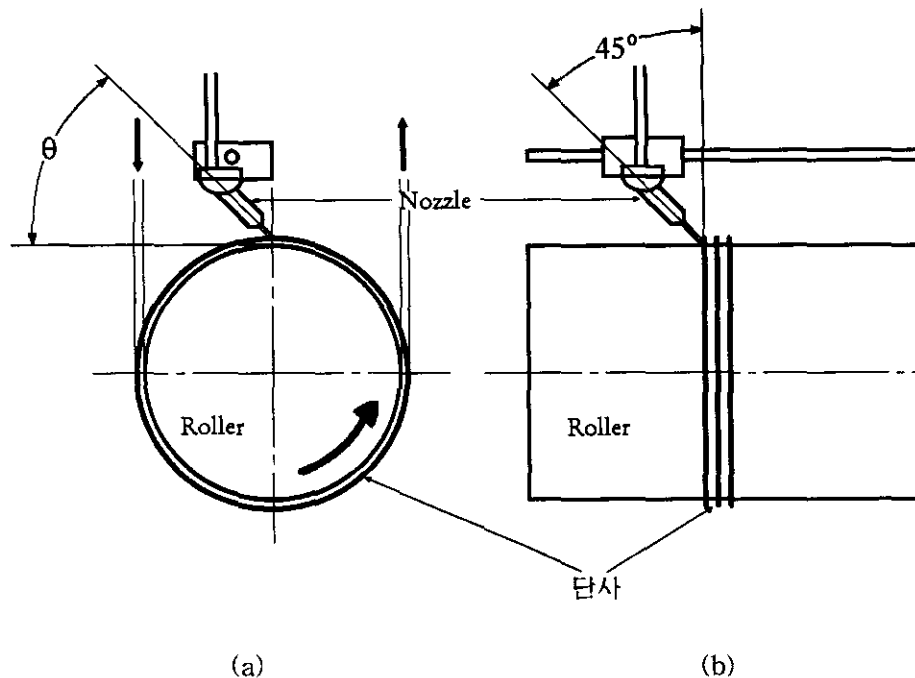


그림 6 물 제트를 이용한 단사 제거 개념도

노즐은 로울러 표면 중 섬유가 접촉하는 부분의 반대편에 설치하게 되며 노즐이 로울러 표면의 길이 방향을 따라 움직이며 분사할 수 있도록 하는 주행시스템이 필요하다. 노즐은 로울러 길이 방향으로 섬유가 걸려 있게 되는 길이를 포함한 양만큼 주행할 수 있도록 설계되어야 한다. 이때 노즐의 주행동력을 제공하는 모터는 환경이 습도가 높은 환경임을 감안하여 방수형의 것을 선택하여야 한다. 별도의 모터를 동력으로 이용하지 않고 로울러로부터 동력을 제공받을 수도 있다. 그러나 이 때는 확실한 동력 전달에 특히 주의하여 설계하여야 한다.

통상 노즐의 개폐는 압축공기를 이용하고 있다.

각각의 로울러에서 단사의 발생을 감지하는 장치를 갖추고 이 장치에 의하여 어떤 방법으로든 단사가 발생되었을 때에만 물 제트를 분사하는 것이 가장 이상적인 방법이다. 그러나 로울러의 길이가 길고 연신 공정에서 섬유가 응착되지 않도록 유제를 사용하고 있는데 이 유제가 스프레이 형태로 날리고 있으며, 폴리에스터 섬유도 제품에 따라 여러 가지 색상을 가지게 되어 단사발생을 감지하는 것이 현실적으로 매우 힘들다. 따라서 일정한 시간마다 주기적으로 물 제트를 분사하여 단사를 제거하는 것이 현실적인 방법이라고 생각되며 여기서는 이러한 방법을 택하였다.

제과 공정에서 초콜릿을 절단할 때 물 대신에 식용유를 사용하는데 이와 마찬가지로 물 제트 시스템에 사용하는 물은 순수한 물보다는 기존에 사용하고 있는 유제가 용해된 용액을 사용하는 것이 유리할 것으로 생각된다.

물 제트가 분사되고 난 후 물방울이 사방으로 튀게 되므로 이를 방지 또는 억제할 수 있는 시스템도 필요할 것이다. 물방울이 제품이나 제품이나 로울러에 튀게 되면 냉각 작용으로 제품에 좋지 않은 영향을 미칠 가능성이 있고 스프레이 형태로 공중에 날리게 되면 작업환경이 나빠지며 바닥을 적시어 바닥이 미끄러워질 우려가 있다. 따라서 물 제트를 분사하는 반대편의 적당한 위치에 물 제트에서 나온 유체를 흡입하는 시스템이 필요할 수도 있다. 노즐의 개폐 제어에 압축공기를 이용하고 있고, 온도와 습도가 높아 전기적인 에너지 사용이 부적합하며 대부분의 공장에서 압축 공기는 쉽게 얻을 수 있으므로 압축공기에 의한 흡입시스템을 구비하는 것이 효과적인 것이다.

또 물 제트를 사용하였을 때 로울러에 대한 약간의 냉각 효과가 있을 수 있고 반대로 물 제트가 노즐을 통과하면서 마찰에 의하여 열이 발생하여 로울러를 가열하게 될 수도 있다. 이에 대한 영향은 본 실험에서는 구하지 않았으나 실제 적용할 때에는 제품의 안정화를 위해 약간의 운전조건 변경이 필요할 수도 있다. 그러나 다음의 유량 계산에서 보듯이 물 제트가 소비하는 유량이 많지 않으므로 그 효

과는 매우 적을 것으로 생각된다.

물 제트 시스템을 선택하기 위하여 시간 당 토출 유량이 계산되어야 한다. 이는 실험을 통하여 수압, 노즐 직경, 노즐 주행 속도, 및 분사 주기의 결정이 필요함을 의미한다.

소요 유량은 다음의 식으로 주어진다.

$$V = 0.5 S \sqrt{P} D^2 \frac{T}{60} \frac{K}{60} N \quad [\ell / \text{Min}] \quad (1)$$

$$= \frac{S \sqrt{P} D^2 T K N}{7200} \quad [\ell / \text{Min}] \quad (2)$$

여기서 P : 수압 [Kg/cm^2]

D : Nozzle Diameter [mm]

T : 1회 분사 시간 [초]

K : 시간당 분사 회수

N : Nozzle의 개수

S : 여유율 > 1

통상 1개의 연신 라인에는 약 70 개 정도의 로울러가 있으며 그 중 약 35개 정도의 연신 로울러가 있다.

만일, 로울러 길이 방향의 주사거리를 1200 mm 정도라 할 때 앞의 실험을 통하여 충분히 절단이 가능할 것으로 보이는 변수로 수압 $P=2,000$ Bar, 노즐직경을 $D=0.25\text{mm}$ 로 하고 로울러 1개당 약 0.25 m/sec 정도로 주행한다면 주사시간은 약 5초 ($T=5\text{sec}$) 정도 되고 여유율을 30 %로 하면 ($S=1.3$) 식 (2)로부터

$$V \approx \frac{KN}{400} \quad [\ell / \text{Min}] \quad (3)$$

이 되며 6분 간격으로 1번씩 분사하고 ($K=10$), 1 개의 라인에 있는 로울러에 전부

적용한다면 ($N=35$) 소요 유량은 1분당 약 1 리터 정도가 되며 $K=6$ 이고 $N=100$ 이면 소요유량은 분당 약 1.5 리터가 된다.

3.2 이동 브러시에 의한 방법

현재 이용하고 있는 단사 발생을 억제하는 방법으로 끊어진 실 가닥이 로울러를 타고 돌지 못하도록 로울러 표면에 브러시를 밀착시켜 놓고 있다. 이 방법은 현재까지 사용되고 있는 단사 발생 제어 방법 중에서 가장 효과적인 방법으로 생각된다.

단사는 연신 중인 섬유 중 한 가닥이 끊어져 그 선단이 로울러에 부착되어 감기기 시작하면서 이 것을 씨앗으로 하여 커지게 된다. 따라서 연신 중인 섬유 가닥이 끊어진다고 해도 그 선단이 로울러에 부착되지 않고 정상적인 섬유의 진행 방향을 따라 가면 단사가 발생하지 않게 되며, 로울러에 부착되더라도 로울러를 타고 넘어가 감기지 못하도록 막아 줄 수 있다면 품질이나 생산량에 문제를 거의 발생시키지 않게 된다.

이와 같이 끊어진 섬유 가닥이 로울러에 부착되어 로울러를 타고 넘어가 감기는 것을 방지하기 위한 방법으로 로울러 표면에 브러시를 밀착하여 고정 설치시켜 놓고 있다. 이는 끊어진 섬유의 선단이 로울러 표면에 부착되어 로울러와 함께 회전하면서 브러시에 걸려 더 이상 로울러에 감기지 않게 하려는 것이다. 일단 브러시에 걸린 가닥은 더 이상 로울러를 감싸고 돌지 못하게 되고 뒤따라 진행하여 오는 실은 브러시 앞에 쌓이게 된다. 이 부위는 통상 1 가닥만 쌓이는 것이기 때문에 단사처럼 정상적으로 진행하고 있는 다른 실을 물고 오지 않으므로 커지는 속도가 매우 느리고 시간에 비례하므로 충분히 여유 있게 대처할 수 있고, 대부분의 경우 그대로 방치하여 두어도 무방하다. 이렇게 끊어져 쌓이고 있던 실 가닥의 뒷 부분이 어떤 경우에는 정상적으로 진행하는 다른 실과 같이 정상 궤도를 따라가게 되기도 하는데 그러면 쌓여 있던 실 뭉치가 역으로 서서히 풀리면서 없어지기도 한다.

만일 브러시가 로울러의 전체 길이 방향의 표면과 완전히 밀착되어 끊어진 섬유 가닥이 통과할 수 있는 틈새를 없앨 수만 있다면 이 방법은 거의 완벽하다고 할

수 있다. 그러나 이것이 가능하지 않기 때문에 끊어져 로울러에 부착된 섬유의 선단이 모두 브러시에 걸리게 하지는 못한다.

만일 이 섬유 가닥의 선단이 일단 브러시의 솔 가닥 사이를 통과하고 난 섬유 가닥에 대해서는 브러시가 거의 아무런 역할도 하지 못한다. 그 섬유 가닥의 뒷부분은 계속하여 같은 경로를 따라오며 브러시를 통과하고 브러시에 틈새를 벌려가며 로울러에 감겨 단사를 발생시키게 된다. 이렇게 일단 단사가 발생되고 나면 단사의 크기가 커짐에 따라 브러시를 로울러 표면에서 밀어내게 되어 로울러와 브러시의 접촉력이 약해지게 되고 접촉 면적이 감소하게 되며 새로이 단절되어 들어오는 섬유의 선단에 대한 브러시의 차단 효과를 약화시키게 된다. 이를 방지하고 있게 되면 브러시를 로울러에서 완전히 분리시키게 되고 마침내 브러시 설치 부위를 파손시키게 된다. 따라서 브러시가 로울러 표면에서 어느 정도 떨어지게 되면 이를 감지하여 정보를 발하고 속도를 낮추어 작업자가 육안으로 확인하여 어떠한 조치를 취할 것인가를 결정할 수 있도록 하고 그보다 더 떨어진 것으로 감지되면 기계가 자동으로 정지하도록 하여 작업자가 단사를 제거할 수 있도록 하고 있다.

이와 같이 브러시를 고정설치하여 놓은 것은 로울러에 붙어오는 단사를 무조건 로울러와 분리시키겠다는 개념이다. 이것이 실제로 가능하기 위해서는 로울러와 브러시가 완전히 밀착되어 가느다란 섬유 한 가닥이 빠져나갈 수 있는 공간도 없도록 하여야 한다.

그러나 로울러 표면과 브러시의 각 솔 가닥 사이에는 공간이 있을 수밖에 없으며 이러한 공간이 없게 하는 것이 거의 불가능하다. 만일 로울러와 브러시사이의 밀착을 강하게 하면 브러시 솔 가닥이 로울러와 접촉하는 면적이 커지게 되어 결국 섬유가닥이 통과할 수 있는 공간의 크기가 확률적으로 작아지게 된다. 그래서 점점 강한 힘으로 브러시를 로울러에 밀착시키게 되는데, 이렇게 하면 외팔보 형태를 가진 로울러를 강하게 누르게 되어 진동 문제를 발생시키게 되고 또 로울러 표면에 마찰력으로 작용하므로 로울러 구동 부하가 커지게 된다. 실제로 모터에 걸리는

부하가 커져서 힘을 가해 누르는 데는 한계가 있다. 그러나 브러시를 고정 설치하는 것은 현재까지 실용화된 단사 제어 방법 중에는 가장 좋은 방법이다.

본 연구에서는 이런 방법을 개선하여 브러시가 갖는 장점을 살리면서 더욱 효과적으로 단사를 제어할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

단사는 끊어진 섬유가닥의 선단이 생긴 위치를 중심으로 쌓이게 되는데 확실적으로 처음에 들어온 실은 단사더미의 안쪽에 위치하게 되고 나중에 감긴 실은 바깥쪽에 있게 된다.

만일 브러시가 설치되어 있으나 솔 가닥 사이로 끊어진 실이 넘어가 단사가 발생하였을 때 브러시를 로울러의 길이방향으로 미끄러져 움직이게 한다면(그림 7) 주로 바깥쪽에 쌓여있던 실 가닥이 브러시의 솔 가닥에 걸려 늘어나게 되고 이에 의한 인장력이나 주행저항에 의하여 끊어지게 될 수 있고 끊어지지 않아도 소성변형을 받아 늘어나게 되며 이 늘어난 실 가닥은 확실적으로 로울러에 훨씬 더 쉽게 걸리게 된다.

즉, 기존의 브러시를 밀착력이 훨씬 적게 하여 설치하여 놓고 로울러 길이방향으로 간헐적 왕복운동을 하도록 하면 단사가 생기기 시작할 확률은 카질 수 있지만 곧 제거되거나 더 이상 커지지 않게 제어가 가능하다.

이런 방법은 브러시가 움직일 때에만 로울러와 접촉하고 평시에는 로울러와 떨어져 있도록 할 수도 있다. 그러나 이는 끊어진 실 발생이 매우 많을 때에는 현실적인 방법이 되지 못한다.

또 다른 방법으로 두개의 브러시를 병렬로 가까이 설치하여 놓고 로울러 길이방향의 상대운동을 서로 반대가 되도록 설치하면(그림 8) 섬유에 국부적으로 큰 힘을 가할 수 있어 그 효과를 한층 높일 수 있다.

이때 운동주기는 단사발생 정도에 따라 달리하여야 하고 이는 실제 설치 후 실험을 통하여 결정될 사항이다. 브러시는 쉽게 얻을 수 있는 압축공기를 이용하여 공압실린더로 구동하는 것이 바람직할 것이다.

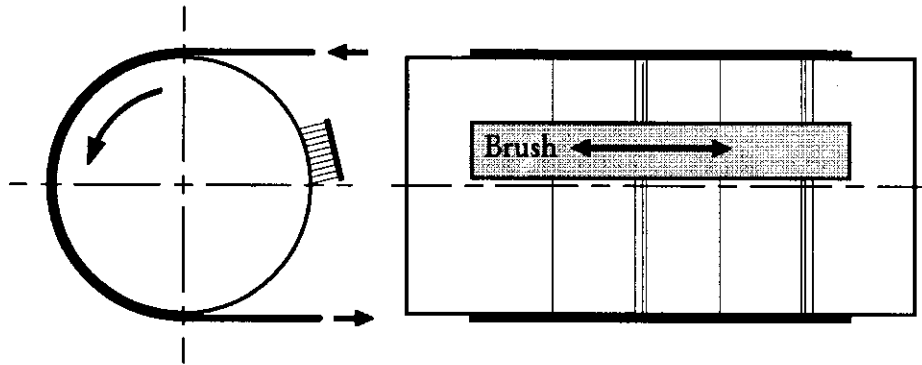


그림 7 한 개의 이동 브러시에 의한 방법

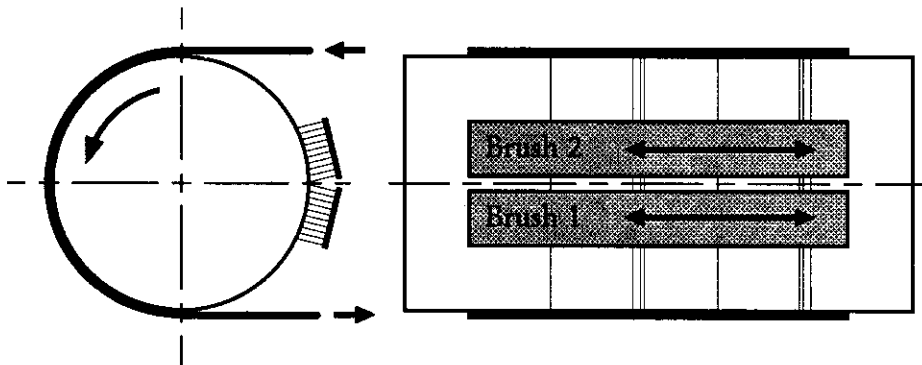


그림 8 두 개의 이동 브러시에 의한 방법

4. 결과 및 고찰

합성섬유 제조공정에서 발생하는 단사를 제어하기 위한 기존의 방법을 살펴보고 위험성을 줄이고 생산성을 향상시키기 위하여 물 제트에 의한 방법과 기존의 고정브러시에 의한 것을 개선한 방법을 제안하였다.

물 제트 방법은 물 제트의 성질 중 경도가 약한 재질만 선별적으로 절단할 수 있다는 특징을 이용한 것으로 대부분의 경우 단사문제를 해결할 수 있을 것이다.

물 제트의 절단성능은 노즐직경이 클수록, 입사거리가 짧을수록 그리고 주행속도가 느릴수록 좋아지며 입사각이 45° 인 경우가 다른 경우보다도 절단성능이 좋아지며 90° 인 경우가 가장 나쁘다.

본 연구에서 사용한 노즐이 분사 후 물체를 관통하여 절단하기 위한 목적으로 입사각 90° 인 경우에 이용하도록 제작된 것을 사용하여 입사거리가 매우 커졌으나 45° 의 입사각을 갖도록 제작되면 훨씬 더 좋은 절단성능을 보일 것이다.

2,500bar의 수압에서 연강에 아무런 영향을 미치지 않으므로, 실제 로울러는 연강보다 재질이 강하므로 더 높은 압력을 이용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 상황보다 훨씬 더 나쁜 조건에서 실험하여 그 절단가능성을 제시하였다. 다만 로울러가 회전치 않고 있는 상황에서 실험하였는데 이러한 기능은 단사 절단성능을 떨어뜨릴 것으로 생각되지만 기타의 조건을 고려하였을 때 충분히 단사를 절단할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 이 물 제트의 가격이 비싸다는 단점이 있으며 물 제트에 의한 스프레이가 과도하게 발생하지 않도록 흡입시스템을 효과적으로 설계하여야 할 것이다.

물 제트에 의한 단사 절단 방법을 응용하여 노즐이 부챗살 모양의 제트를 형성하도록 하면 로울러 사고의 주종을 이루고 있는 이물질 제거 과정이 자동화될 수 있을 것으로 생각된다.

이동 브러시에 의한 방법은 기존의 고정식 브러시 방법이 갖는 모터 과부하 문

제를 해결하고 저렴한 가격으로 보다 효율적으로 단사발생을 억제할 수 있는 시스템으로 끊어진 섬유의 선단이 확률적으로 단사더미의 안쪽에 자리하고 나중에 감긴 섬유가 바깥쪽에 있게 된다는 사실에 착안하여 기존에 발생된 단사 중 나중에 감겨 드는 단사를 제거함으로써 단사발생을 억제하는 것이다.

위에서 제안된 방법이 모두 완벽할 수는 없다. 기존의 브러시 물 제트 시스템을 병용하거나 제안된 2가지 방법을 병용하면 훨씬 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안된 방법이 아직은 실현되지 못하고 있으며 앞으로 관련업체에 적용이 될 것으로 생각된다. 물 제트의 경우 이 과정을 통하여 분사주기, 노즐 굵기, 노즐 주행속도, 수압 등이 결정되어야 하고 또 운전조건의 변화가 필요한 경우도 발생할 수도 있다.

브러시를 이용한 방법의 경우 운동주기, 밀착력 등이 실제상황에서 얻어야 할 변수이다.

5. 결론

폴리에스터 섬유의 연신 공정에서는 섬유에 인장력을 가하게 되는데 이 때 연신의 양이 과도하거나 재료가 불 균일하거나, 열의 분포가 적합치 못하거나 하는 경우에는 신연 중인 섬유의 일부 가닥이 끊어져 로울러에 딸리게 되어 단사가 발생한다.

단사를 조기에 발견하여 제거하지 않으면 제품의 질을 저하시키게 되고, 이를 그대로 방치하여 두면 로울러 축이 파단 되는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 단사가 로울러에 쌓여 커지기 전에 제거하는 것이 매우 중요하며 연신 공정에 근무하는 작업자는 로울러의 단사 발생 상태를 감시하고 제거하는 것이 주요 임무 중의 하나이다. 단사 제거 과정에서 단사의 일부가 근로자의 손가락에 딸리며 손가락이 절단되거나 팔이 연신 중인 로울러에 딸려 부상 또는 사망하는 사고가 있었다.

단사를 제거할 때 반드시 로울러를 정지시키고 수공구를 이용하여 제거하도록 작업 표준을 정하여 놓고 있기는 하지만 로울러가 회전하고 있는 상태에서 단사를 제거하는 것이 기계를 정지시키고 제거하는 것보다 훨씬 용이하고 생산량에 압박을 받는 근로자는 회전하는 중에 제거하려고 하는 유혹을 받기 쉽다.

본 연구에서는 물 제트의 성질 중, 연삭재나 물의 압력을 조절함에 따라 경도가 약한 재질을 선별적으로 절단할 수 있다는 데에 착안하여 로울러 연신 공정에서 발생된 단사를 조기에 자동으로 제거하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 그 실용성을 입증하여 근로자의 안전을 도모하고자 하였고, 또 기존에 사용되고 있는 브러시를 이용한 방법을 개선하여 저렴한 가격으로 기존의 방법보다 단사 발생을 더 효과적으로 억제할 수 있는 방법을 제시하였으며 본 연구 과정과 그에 따라 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 폴리에스터 섬유의 기계적 성질을 시험하였다.

(2) 단사를 절단할 수 있는 실험 장치를 제작하였고 물 제트를 이용하여 단사

를 절단하는 것이 가능함을 보였다.

- (3) 물 제트에 의한 단사의 제거시 로울러 표면에 대한 제트의 입사각은 45° 일 때 가장 효과적이며, 90° 일 때는 표면에 밀착된 섬유가닥은 잘 절단되지 못한다.
- (4) 물 제트로 단사를 제거하는 장치의 개념설계를 하였으며 실시 설계에 필요한 자료를 제시하였다.
- (5) 기존에 사용되고 있는 브러시를 이용하여 단사의 발생을 억제하는 방법을 개선한 새로운 방법으로 이동 브러시에 의한 방법을 제안하였다.

본 연구에서 제안된 방법을 실제로 적용하기 위해서는 실제 연신 중에 얻은 실험 자료의 축적이 필요하다.

본 연구에서는 합성 섬유인 폴리에스터 섬유의 연신 공정 중의 로울러 표면에 붙은 물질의 제거를 대상으로 하였으나 여기서 제안된 방법은 로울러기에 의한 사고의 주종을 이루고 있는 로울러 표면의 이 물질 제거 공정을 자동화하는 방법으로 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1]. Hashish, M., "Cutting with Abrasive Waterjets", Mechanical Engineering, Mar. 1984
- [2]. Saunders, D. H., "A Safe Method of Cutting Steel and Rocks", Proceedings of 6th International Symposium on Jet Cutting Technology, BARA Fluid Engineering Cranfield, England, 1982
- [3]. Saunders, D. H., et al. "The Use of Fan-Shaped Water Jets in Preference to Straight Jets to Remove a Paint Coating", Proceedings of 8th International Symposium on Jet Cutting Technology, Durhan, England, Sep., 1986
- [4]. Uchino, J., et al "Surgical Cutting of Liver by Water Jet", Proceedings of 9th International Symposium on Jet Cutting Technology, Sendai, Japan, Oct., 1988

합성섬유 제조 공정의 로울러 단사 자동 제거 장치 개발
(기전연 94-1-3)

발 행 일 : 1994. 12. 31

발 행 인 : 산업안전연구원장 서 상화

연구수행자 : 선임연구원 김 기식

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

(기계전기연구실)

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

전 화 : (032) 513-0230

(032) 502-0031~2

<비매품>