

섬유가공공장에서 이용가능한 에너지 절감방법(I)

1. 서론

서독의 Baden-Wurttemberg 州 ,경제성에 의해 진행된 연구결과 섬유가공 공장에서 직물 1kg을 가공하는데 평균 약 14.5KWh의 열에너지를 소비하는 데, 이는 전체 섬유산업에서 소비되는 총 열에너지의 약 70%를 차지한다는 사실이 밝혀졌다.

직물 1kg을 가공하는 데 소비되는 평균 열에너지인 14.5KWh 가운데 약 65%를 차지하는 9.4KW/kg 가 습식공정에서 소비되었으며 나머지 35%인 5KW/kg 은 건식공정에서 소비되었다. 따라서 가공공정에서의 비열에너지(specific heat energy) 비용은 직물 1kg당 약 0.80 독일마르크(240원)에 달한다(이하 1DM=W300으로 계산). 열에너지의 소비를 절감하기 위한 특수한 장치의 구입을 고려하기 전에 우선 습식공정이거나 건식공정이거나 간에 현재 상태에서 그 장치와 관계된 기계나 종류가 완벽하게 작동하고 있는가를 확인하는 것이 필수적이다. 대개의 경우 에너지 소비량과 운전비용은 다른 어떤 특수 열회수장치보다도 그것이 아무리 효과적일지라도 이러한 확인에 의하여 좀더 근본적이면서도 용이하게 절감시킬 수가 있다. 따라서 예를 들면 건조기는 기술적이고도 실제적으로 적당하게 조절된 흡입 공기의 도입량, 잘 조절된 배출공기의 습도, 그리고 가능한 한 높은 물의 용적이용율로서 운전되어야만 한다. 마찬가지로 수세기도 피처리물의 단위당 소비되는 물의 양이 가능한 한 가장 적어야 하고 수세시에 허용될 수 있는 물의 온도가 최대한 높아야하며 요구하는 수세효과에 지장을 주지 않는 범위내에서 최대 속도로 운전될 수 있어야 한다.

본고는 업계에서 참고할 수 있도록 오늘날 이용 가능한 여러 가지 에너지 절감 방안 중 일부를 예를 들어 설명한 것으로 이번 호와 다음 호에 나누어 게재하기로

한다.

2. 건조기로부터 배출되는 공기량 조절(예 1)

섬유물질을 대상으로 하여 행하는 대부분의 건조공정과 열처리공정에서 공기는 물이나 가공제의 증기 그리고 열의 전달매체로 사용된다. 순환되는 공기중의 수증기나 가공제의 증기 농도가 예정된 어떤 일정수준에 도달하게 되면 나머지 일정량의 공기는 계속적으로 빠져 나와 배출공기로서 대기중으로 방출된다. 이때 방출된 공기의 양만큼 공기 공급용 덕트나 건조기의 틈으로 새어 들어오는 새로운 공기로 대체되어 진의 증기의 농도를 기술적이면서도 경제적으로 가능한 수준에서 일정하게 유지하기 위해서는 이 배출공기중의 수증기와 가공제의 증기의 농도를 계속적으로 측정해야만 한다. 배출공기중의 수증기의 농도, 즉 습도는 건조 공정 중에 여러 가지 방법으로 측정될 수 있다. 다음의 측정방법들은 실제로 효과가 있음이 입증되었다.

① 측정 챔버내에서 한 염화리튬 측정요소(measuring element)가 오로지 수증기의 부분압력에 의해서만 좌우되는 염화리튬용액/염화리튬 염계의 전이 온도를 측정한다.

② 서로 다른 습도를 갖는 개스내에서의 온도와 관계되는 음파 전달속도를 측정한다. 이 경우, 습도의 변화에 따른 밀도의 변화는 보정되어진다.

③ 외부는 차갑게 하고 내부는 광택이 나게끔 처리된 스테인레스 튜브내에서 온도가 로점이하로 떨어질 때 개스의 엔탈피 차이를 열류와 온도를 측정함으로써 결정하고 이 값으로부터 컴퓨터에 의하여 g/cm^3 단위로 습도를 계산한다.

이러한 측정의 결과 배기파이프에 부착된 밸브의 위치를 변경하거나 배기팬을 작동시키는 모우터의 속도를 변경시키기 위한 시그날이 전달된다. 간단한 플

랩(flap)의 조절특성은 선형적이 되지 못하기 때문에 이러한 목적으로는 적합치가 못하며 따라서 조절판을 이용한 조절은 에너지의 사용에 관한 한 그 결과는 만족스럽지 못하다. 따라서 좀더 실제적인 것으로는 다음 공식에서 보는 바와 같이 배출공기량에 직접적으로 배열하는 배기팬의 속도를 조절하는 방법이다.

$$V_2 = V_1 \times n_2 : n_1$$

배기팬의 대략적인 조절은 극성변환모우터를 사용함으로써 역시 가능하다.

이러한 배출공기의 조절시스템을 일반적인 공정제어 시스템에 통합시키는 것은 가능하다. 만약 습도와 같이 객관적으로 측정된 값을 기초로한 배출공기량의 조절이 불가능하다면 경험이 활용되어야만 하고 적절한 목적치가 선정되어야 한다. 즉 서머클 가공에서와 같이 대략적인 배출공기량을 설정할 때에는 배출되는 공기중의 가공제 증기의 농도를 측정할 수 있게끔 설계된 실제적인 장치들이 아직 개발되지 못하였기 때문에 이러한 경험의 도입이 필요하다. 이러한 문제에 대한 가능한 해결책을 찾기 위한 연구가 현재 진행되고 있다. 건조기에서 배기량을 결정하는데에 일반적으로 가장 타당한 판단기준은 건조기내에서 수증기나 가공제의 증기가 응축하지 않을 만큼을 그 건조기의 적당한 배기량으로 결정하는 방법이다. 순환되는 공기중의 수증기나 가공제 증기의 농도가 증가함에 따라서 건조기내에서 순환되는 공기의 온도보다 더 차가운 부분에 응축되거나 그것이 다시 식물에 떨어질 위험성이 증가하게 된다. 또한 가공제의 응축현상은 역시 스텐터 체인에서의 윤활작용에 분제를 발생시킬 수도 있다.

배출공기량을 조절할 수 있는 장치에 의하여 절약될 수 있는 정도는 그 건조기의 적절한 배출공기량과 평상시의 작동때에 보통 고정되는 배출고기량과의 차이에 의해 결정된다. 식물의 중량, 종류, 식물폭 또한 그에 따른 공정의 변화와 같이 자주 변화하는 요인들로 인하여 건조기의 작동은 일반적으로 매번 적절한 배출공기량을 설정할 수가 없다. 거의 대부분 건조기는 배출공기량에 관계되어 있는 물

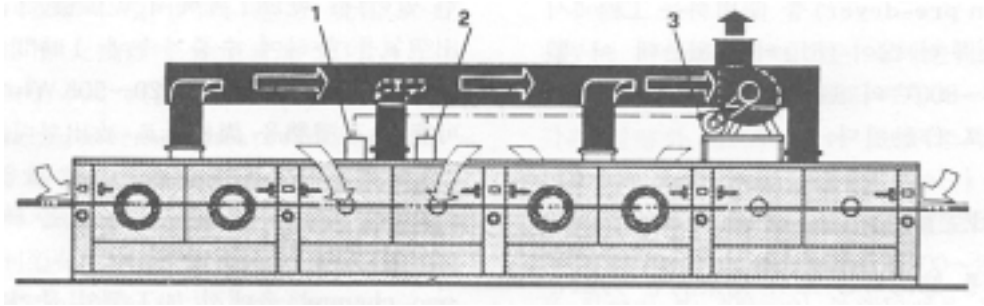
리적이면서도 경제적인 관계를 무시한 채, 과도한 양의 배출공기를 배출하면서 작동되고 있다. 배출공기량을 조절할 수 있는 장치를 사용함으로써 얻을 수 있는 정확한 수익액은 각각의 경우에 따라서 달리 결정되어야 한다. 그러나 일반적으로 이러한 배출공기량을 조절하는 장치를 설치하는 데에 필요한 투자액은 20,000독일마르크(600만원)에서 30,000독일마르크(900만원)정도이고 이러한 투자액은 1~2년 안에 회수될 수 있다고 말할 수 있다.

스텐터 건조기로 직물을 건조할 때에 배출공기의 습도는 배출공기 1kg당 150g 정도로 고정되어야 한다. 배출공기중의 습도가 높아질수록 유입되는 신선한 공기 유입량은 줄어들게 되고 따라서 이때에 손실된 열에너지 보충하기 위하여 필요한 비용은 감소된다. 그러나 배출공기의 습도가 높아짐에 따라서 건조기의 건조능력은 저하된다는 사실을 명심해야 한다. 이러한 이유는 직물상의 로점 온도가 더욱 높아지게 됨에 따라 결국 직물과 순환되는 공기와의 온도차가 줄어들게 되기 때문이다. 만약 수차에 걸친 실험결과가 가장 적당하다고 결정된 배출공기중의 습도수준 150g/kg 이라고 하고, 이러한 배출공기를 배출할 때의 건조단가를 1.0 이라고 하면 온도가 100g/kg 일 때에 추가로 소요되는 가열비는 이미 60%가 되고, 습도가 50g/kg 일 경우에는 습도가 150g/kg 일 때에 비하여 실제로 250%의 가열비가 더 소요되게 된다.

한편 건조능력은 습도가 100g/kg일 때에 단지 약 8%만이 증가되고, 습도가 50g/kg일 때에는 단지 약 150%가 증가할 뿐이다.

수차에 걸친 연구결과, 건조기는 배기습도가 50g/kg 이하에서 운전되고 있다는 사실이 밝혀졌다.

배기가격은 이 부분에서 급격히 상승한다.



< 그림 1 > 자동 배출공기량 조절장치가 부착된 btM 5300시리즈

Artos Famatex 스텐터

1. 습도측정을 위한 순환공기의 채취 부분
2. 건습구 습도계 및 조절장치
3. 속도조절용 제어 요소

3. 건조온도 활용(예2)

실제로 건조공정은 온도 140℃에서 150℃사이의 순환공기로 보통 이루어진다. 수차에 걸친 연구 결과 전체건조비용의 최소치는 건조기내의 공기의 온도가 증가함에 따라 순환되는 공기의 습도가 좀더 높은 쪽으로 움직인다는 사실이 밝혀졌다. 최저건조가격은 순환되는 공기의 온도가 높아질수록 더욱 절감된다는 사실이 밝혀졌지만 그와 같은 높은 온도의 공기를 얻기는 더욱 어렵게 된다. 전체건조가격은 순환되는 공기의 온도가 상승함에 따라 아주 급격하게 저하된다.

만약 공기온도가 140℃이고 습도가 70g/kg일 때에 소요되는 건조비용을 100%라고 하면, 공기온도가 180℃이고 습도가 200g/kg일 때에는 그 건조비용은 단지 80%로 절감된다. 최종 제품의 품질에 상해를 입히지 않는 한 건조공정은 가능한 한 그 건조기의 가장 높은 허용온도와 그 온도에서의 가장 적절한 배출공기의 습도하에서 이루어져야 한다.

일반 직물의 경우 로점은 습도가 약 40%정도까지 올라갈 때에 나타나게 되는데, 이러한 로점이 이루어졌다고 할 때에 순환되는 공기의 온도는 희망하는 데에까지 올릴 수 있는데 그 이유는 직물의 온도와 동일한 로점온도가 공기의 적정온도가 150g/kg에서 200g/kg 사이일 때에 항상 65~70°C정도가 되기 때문이다. 문제는 단지 건조기가 예상치 못한 시기에 갑작스럽게 정지될 때에 발생하게 되는데, 그 이유는 이대 직물이 급격히 건조하게 되고 그리고 직물의 온도가 건조기내에서 순환되는 공기온도와 동일하게 될 것으로 예상되기 때문이다. 따라서 그러한 상황에 대비하여 직물이 상해를 받지 않게끔 차가운 냉각공기를 공급하는 전환장치와 같은 배상냉각장치가 부착되어야 한다. 이러한 장치는 복사열을 이용한 예비 건조기(radiation pre-dryer)를 사용하는 공정에서는 오래전부터 많이 사용되어 왔는데 이 장치는 700~800°C의 온도를 내는 적외선 열발생장치로 작동된다.

4. 배출공기로부터의 열 회수(예 3)

에너지를 절약하는 보다 효과적인 방법은 뜨거운 상태의 배출공기로부터 열을 회수하는 방법인데 이때에 회수된 열에너지는 열교환기를 통하여 그와 동일하거나 또는 다른 열매체로 전달된다.

이때 가장 좋은 조건은 회수된 열에너지를 열교환기와 동일한 열매체를 사용하여 지체없이 회수하는 것이며 이렇게 함으로서 그 회수된 열에너지를 사용할 때까지 열을 저장하기 위하여 필요한 부속장치를 줄일 수 있고 그에 따른 열손실도 피할 수 있다.

만약 열회수 시기와 그 열을 필요로 하는 시기가 동일하지 않을 경우에는 열집적기를 부착해야 하는데, 이 장치는 보통 온수(hot water) 탱크의 형태만이 경제적으로 가능하다.

뜨거운 배출공기로부터 열을 회수할 때 발생하는 문제는 배출공기 중에 포함되어 있는 매우 높은 농도의 린트, 먼지, 그리고 기름성분의 오염물질로 인하여 공기로부터 얻을 수 있는 열전달상수가 비교적 낮다는 점에서 발생하게 된다. 이러한 요인들은 가공공장에서 사용하기 위한 특수한 열교환기가 개발되어야 한다는 것을 뜻한다.

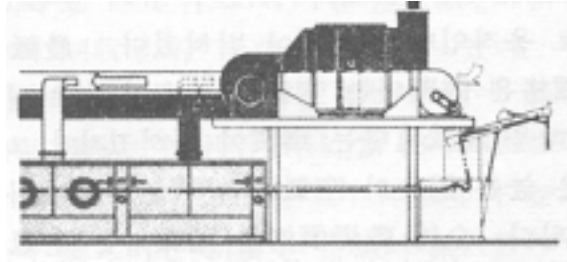
만약 건조기가 정상적인 상태, 즉 적정조건 하에서 작동하게 된다면 배출공기량은 비교적 적게 되고 따라서 회수할 수 있는 열량은 줄어들게 된다. 실제로 자주 발견하게 되는 많은 양의 회수열은 배기팬이 최대능력으로 작동될 때에만 가능하다. 만약 배출공기량이 아주 많을 경우에는 그 배출공기내에 포함된 열의 40~60%를 회수하기 위하여 문제를 일으키는 것은 분명히 현명치 못한 일이다. 건조공정에서 건조기 1대는 배출공기를 통하여 수증기속에 1시간당 평균 60~120KWh의 잠열과 20~50KWh의 회수가능한 배잠열을 주변으로 방출한다.

열처리공정에서의 배출공기의 양은 아주 광범위하게 변하게 된다. 그 양은직물에 포함되어 있는 가공유의 양과 열전달회수(thermo channel)속에서 가공제의 증기가 확실히 응축되지 않게 하는 데에 필요한 양에 따라서 변하게 된다. 또 다른 요인은 생산공장내에서의 과도한 냄새와 직물냄새를 방지하는 문제들이다.

열처리공정에서의 회수가능한 배잠열량은 일반적으로 건조공정보다도 많다. 여기에서는 배출공기중에 포함되어 있는 열의 약 60~70% 정도를 회수할 수 있다.

가. 열회수 장치

외부 열회수장치(그림 2)는 새로운 생산설비와 함께 설치될 수 있지만, 대개의 경우 현재 설비에 추가시켜 사용한다.



< 그림 2 > btm 5300 시리즈 Artos Famatex 스텐터의 중앙 집중식 직접 열회수 장치

이 장치는 1대 또는 그 이상의 건조기와 연결될 수가 있다. 여러 대의 건조기에 연결시킴으로서 크기와 가격의 절감효과를 가져온다. 이러한 장치는 한번 설치되면 그 이후에 확장되는 생산설비에 맞추어서 용이하게 재설치를 할 수가 없다. 그러나 한편 높은 열회수율과 작동의 용이함은 아주 큰 장점이다.

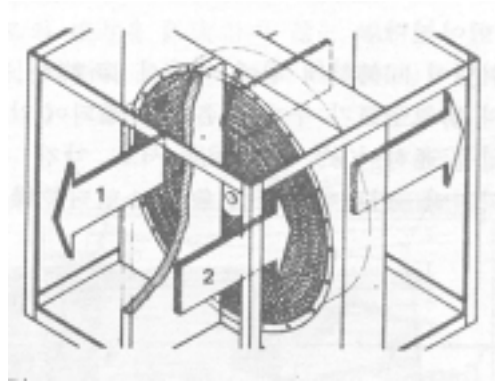
여러대의 건조기를 연결하기 위해서는 비교적 같은 시기에 작동되는 기계를 필요로 하게 되고, 이러한 기계를 설치하지 않은 경우에는 열회수장치를 설치하는데에 투자된 자본의 회수율이 떨어지게 된다. 현재 두 가지 형태의 열교환기가 사용되고 있다.

① 중앙집중식 직접 열회수장치용 축열식 열교환기(regenerative heat-exchanger)

공기와 공기사이에 열을 교환하게끔 설계된 여러 가지의 열교환기중에서 히트 휠(heat wheel)은 아주 경제적이면서도 믿을 수 있는 장치임이 밝혀졌다. 배출공기중의 오염물질의 농도가 정상적인 수준인 곳에서 이 장치는 청소작업과 보수작업을 비교적 거의 필요로 하지 않으면서도 오랫동안 사용할 수가 있다. 또한 가능한 한 가장 적은 공간을 사용하면서도 최대의 열교환면적을 이용할 수 있으며 스크린으로 청소할 때 발생하는 압력손실은 $20\sim 30H_2O$ (2~3밀리바)정도이기 때문에 열교환능력도 아주 우수하다.

히트 휠(그림 3)은 회전하는 저장용적을 갖는 복열식 열교환기인데 이 저장용적을 통하여 배출공기와 신선한 공기가 각각 분리되어 서로 반대방향으로 흐르게

된다.배출공기로부터 받은 열에너지는 히트휠에 극히 잠깐동안 저장된 후에 신선한 공기에 전달된다.



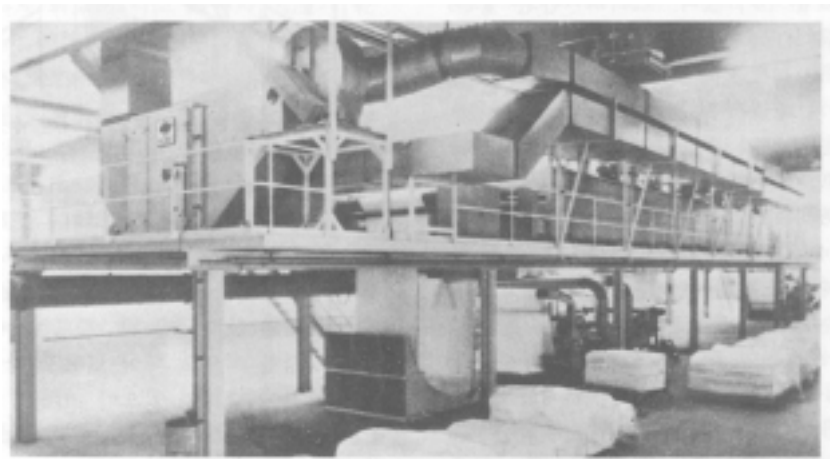
< 그림 3 > Artos Famatex 스텐터용 중앙집중식 직접 열회수장치의 히트휠

이 히트 휠일은 새로운 공기와 배출공기가 분리된 상태로 서로 반대방향으로 그 내부를 통과할 수 있게된 축열회전체가 있는 축열식 열교환기이며, 열은 이 히트 휠일의 내부에 저장된다. 이것은 스테인레스 강철로 만들어진 물결모양으로 주름이 저있는 조각과 평평한 면으로 되어있는 조각이 축방향으로 같이 감겨져 있으며 기어가 달린 모터에 의하여 약 10rpm 의 속도로 회전하게 된다. 이 휠일은 지름이 1200~2000mm 이고 깊이가 약300mm 인 외부덮개로 덮여져 있으며 그 내부는 지주로 보강되어 있다. 또한 이 히트 휠일은 그림3에서 보는 바와 같이 휠일의 절반까지 개폐가 가능한 문을 가지고 있는 격리된 통(housing)속에 장치되어 있다.

대부분의 모든 공기/공기식 열교환기와 같이 히트휠일도 역시 깨끗하게 유지하기가 용이해야 한다. 이점은 휠일에 대한 접근의 용이성과 고압력의 온수를 사용하는 청소장치를 이용함으로써 보장되어진다. 주로 오염물질은 린트이고 이것은 고온하에서 하이드로카본으로 응축됨으로서 서로 결합하게 되고 열교환기의 표면에 재빨리 달라붙게 된다.

청소작업은 휘일 그 자체가 회전하기 때문에 아주 쉽게 자동조작 될 수 있다. 휘일의 전면을 따라 방사형으로 분포되어 있는 소제구는 휘일의 내부 모든 지점으로 물을 분출시킬 수가 있다. 그 분출작업이 끝난 후에는 청소한 물을 제거하기 위한 송풍작업이 이어진다.

휘일이 회전하게 됨에 따라서 신선한 공기와 배기공기가 두 개의 각각 분리되어 있는 채널을 통하여 약 5%정도 서로 약간 혼합되지만, 이러한 혼합현상은 스텐터건조기에서 순환되는 공기가 어떠한 경우에도 아주 완전히 깨끗하지는 못하기 때문에 일반적인 적용범위내에서는 전혀 효과를 가져오지 않는다. 지금까지는 300대 이상의 건조기에 이러한 히트 휘일이 설치된바 있다.



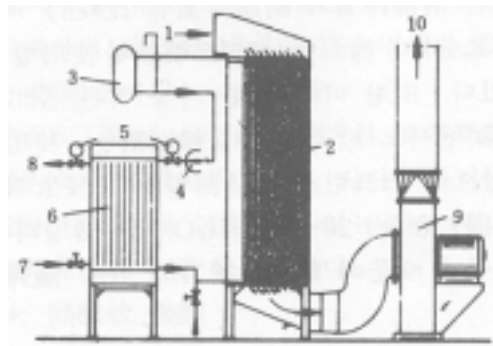
< 그림 4 > 히트휘일(heat wheel)이 장치된 스텐터

② 관류식 열교환기(recuperative heat-exchanger)

관류식 열교환기는 공기/물 열교환기중에서 가장 높은 열회수율을 갖고 있으며 작동과 보수가 용이하다. 이 열교환기를 경제적으로 사용하기 위한 유일한 조건은 배출되는 뜨거운 물을 계속적으로 필요로 하는 곳이 있어야 한다는 점이다. 만약 열교환기가 양호하게 설계되어 있다면 오염으로 인한 문제는 사실상 전혀 없

게 된다.

매끄러운 표면과 물결모양으로 약간 골이 파져있는 형태로 된 공중에 떠있는 상태의 플레이트로 이루어진 플레이트 열교환기는 아주 만족스럽게 작동하는 것으로 증명되었다. 배출공기는 그 장치를 위로부터 밑으로 높은 속도로 흐르게 됨에 따라서 플레이트위에 있는 응축물들은 공기의 흐름에 의해 제거된다. 위에서 언급한 바와 같은 오염물질의 정착현상은 벽온도가 100°C이하이기 때문에 여기에서는 발생하지 않는다. 그 장치는 보통 6개월에서 1년 사이의 간격을 두고 청소해 주어야 한다. 청소작업을 해야 하는 면이 비교적 넓게 퍼져있기 때문에 완전한 청소가 손쉽게 이루어지도록 장치가 설계되어야 한다(그림 5). 이 점에 대한 실질적인 해결책은 물을 공급하기 위한 무연성이 있는 호스로 플레이트를 떠받치는 방법이다. 플레이트는 청소를 하기 위해 쉽게 분리될 수 있어야 한다.



< 그림 5 > 배출공기/물 에너지 회수장치

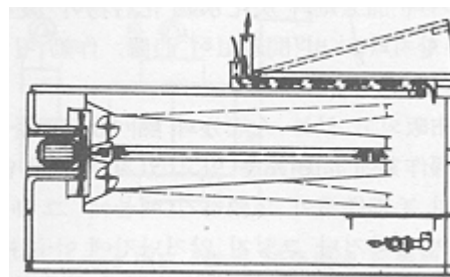
- | | |
|--------------|----------------|
| 1. 배출공기의 도입부 | 2. 방열기 |
| 3. 확장챔버 | 4. 순환펌프 |
| 5. 온도제어밸브 | 6. 2차열교환기(평판식) |
| 7. 냉각수 도입부 | 8. 온수배출부 |
| 9. 환기장치 | 10. 배기공기 배출구 |

공기의 열전달계수가 적기 때문에 자연히 넓은 열교환면적을 필요로 하게 되고, 따라서 공기/물 열교환기는 탄소강으로 만들어져 있다.

부식을 방지하는 문제와 물을 깨끗하게 유지하는 문제는 순환장치를 통하여 공기/물 방열기(radiator)에 연결되어 있는 2차열교환기를 사용함으로써 해결된다. 열교환기의 적절한 설계를 통하여 스테인레스 강철의 사용량을 줄일 수 있고 따라서 이 열교환기의 가격을 아주 저렴하게 할 수가 있다. 이 열교환기를 사용함으로써 배출공기의 온도를 약 50℃정도까지 경제적으로 줄일 수가 있다. 이것은 공기/물 관류식 열교환기가 다른 모든 방법에 비하여 가장 많은 양의 열을 회수하기 때문이다.

건조기에 통합되어 있는 직접 열회수용 장치는 부수적인 파이프 공사의 필요성을 없애주며 또한 이에 수반되는 열손실을 방지해준다. 열회수장치는 기계의 각각 독립된 부분에 설치되어 있기 때문에, 이후에 추가될지도 모르는 그 이상의 부분을 포함하게끔 쉽게 확장시킬 수가 있다. 통합시스템 역시 중소수의 구획으로 이루어진 생산라인에 설치될 때에는 약간의 투자비용이 소요된다.

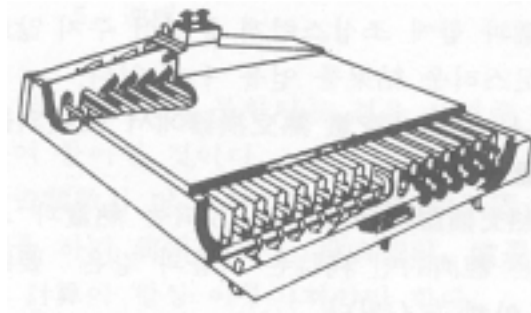
또한 열교환기에 대한 근접의 용이성을 해치지 않으면서도, 열교환기에 있어서는 필수불가결한 넓은 표면적을 갖게끔 하기 위해서는 건조기내에서의 적당한 유용공간이 있어야 한다.



< 그림 6 > btm 5300 시리즈 Artos Famatex 스텐터용 통합된

직접 열회수 장치가 부착된 건조기의 단면도

통합된 열회수장치는 건조기의 각 부분으로의 접근을 방해하지 않는 장소인 건조기의 지붕에 설치할 수도 있다(그림 6).



<그림 7> 건조기의 한쪽에 부착되는 직접 열회수 장치의 한 구성단위

그림 7에서 보는 바와 같이 열회수는 알루미늄으로 만들어진 갈빗대 모양의 요소를 사용함으로써 이루어진다.

열교환기는 그 끝이 서로 겹치도록 배열된 여러개의 요소로 이루어져 있다. 공급되는 공기와 배기되는 공기의 흐름방향은 서로 반대방향이다. 각각의 개별적인 요소는 무게가 약 12 kg 정도이며 청소를 하기 위하여 쉽게 제거할 수가 있다. 이러한 요소들은 잘 부서지지 않게 되어 있으며 충격에도 잘 견디게 되어 있다. 상부의 보온층은 이러한 요소를 제거할 수 있게끔 열리게 되어 있다. 청소작업은 간단하며, 어찌다 한번씩만 해주면 된다. 열교환기의 내부에 있는 대구경의 배기덕트는 오염이 많이 되더라도 그 배기량은 감소되지 않는다. 따라서 공급되는 공기와 배출되는 공기의 비율은 일정하게 유지되고, 린트가 많이 발생하는 제품이 처리되거나 가공제의 탄화수소 화합물이 발생한다 할지라도 별 문제없이 설치,작동될 수 있다.

시판되고 있는 대부분의 열회수장치들은 청소작업에 문제점을 안고 있지만 적지 않은 양의 수동작업이 필요하기 때문에 그 회수가 빈번하거나 그렇지 않거나

간에 이 청소작업은 행해지고 있다. 열교환기의 요소들은 대개 아주 무거우며, 유리튜브로 이루어진 열교환기일 경우에는 부서지기도 쉽다. 어떤 경우에는 이 요소를 특수한 세정용액에 담구어 청소해 주어야 하는 데 이때에도 이러한 작업과 함께 조심스럽게 문질러 주지 않으면 만족스러운 결과를 얻을 수가 없다.

나. 공기/공기 열교환기에서 회수되는 열량의 계산

열교환기에 의하여 회수되는 열량과 그에 따른 경제적인 이익은 다음과 같은 요인들에 의해 좌우된다.

- o 배출공기의 양
- o 열교환기에 도착하기 전의 배기공기의 온도
- o 공급공기의 양
- o 열교환기에 도착하기 전의 공급되는 공기의 온도
- o 열교환기의 표면적
- o 열교환율
- o 연간 작업시간

어떠한 작업조건에도 맞게끔 설계된 열교환기에서 특별히 중요한 것은 배출공기량에 대한 공급되는 공기량의 비이다. 전통적인 건조기에서는 건조기의 내부로 공기가 새어 들어가는 현상을 피할 수 없는데, 이로 인하여 배출공기량은 공급되는 공기의 양보다 항상 많게 된다. 그러나 만약 건조기의 내부로 새어 들어가는 공기의 양이 증가하거나, 배출공기의 습도가 증가하거나, 또는 직물의 폭이 좁아지거나 하는 어떠한 이유로 인하여 공급되는 공기의 양이 갑자기 떨어지게 되면, 그 결과로 열회수율은 갑자기 떨어지게 된다.

열회수율은 공급되는 공기의 온도에 관계하여 배출공기로부터 회수되는 열의 비율이다. 회수된 열은 다음과 같은 공식에 의하여 계산될 수 있다.

$$\Phi = \frac{(T_1 - T_2) \cdot \left(\frac{K, A \cdot X - K, A}{x, m, \text{ cpm}} - 1 \right)}{\frac{K, A \cdot X - K, A}{e, m, \text{ cpm}} - \frac{1}{m, x, \text{ cpm}}}$$

Φ : 열흐름[W]

T_1 :배출공기의 온도[K]

T_2 :배출공기의 온도

K: 열교환계수[W/m²×K]

A: 열교환기의 표면적[m²]

m: 배출공기량[kg/h]

X: (공급되는 공기량)/(배출공기량)[-]

cpm : 비열[W×h/kg×K]

상기의 복잡한 공식은 관심있는 고객들이 제시하는 자료들을 처리하기 위하여 Babcock 섬유기계(주)에서 포켓형 소형 계산기에 입력하였다. 또한 그 외에 회수율 η , 공급되는 공기와 열교환기를 통과한 후의 배출공기의 온도, 그리고 투자비의 상환기간도 계산된다.

그림 8은 배출공기에 대한 공급공기의 비율이 감소함에 따라서 회수율의 저하와 투자비의 상환기간이 연장됨을 나타낸다. 다음 자료는 공기/공기 열교환기에 적용되도록 가상적으로 만들어진 것이다 ;

배출공기량(m) : 9000[kg/h]

배출공기의 온도(T_1) : 130[K]

배출공기의 온도(T_2) : 25[K]

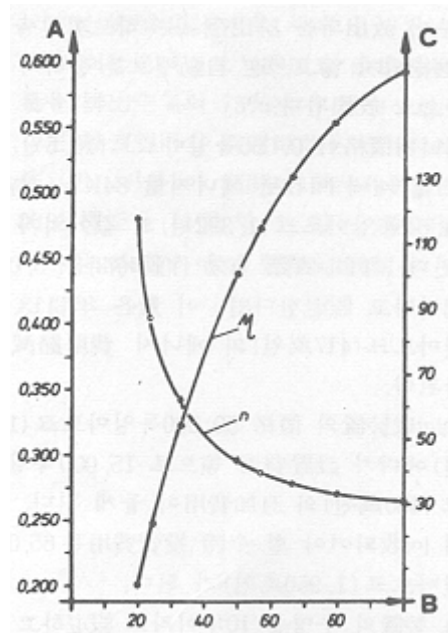
열교환계수[K] : 25W/m[K]

열교환기의 표면적(A) : 150[m²]

(공급되는 공기의 양)/(배출공기의 양)

(X) : 1-1/5 [l]

공기의 평균비열(cpm) : 0.28[Wh/kg·K]



< 그림 8 > 공급공기량과 배출공기량의 비의 변화에 따른 공기/

공기열교환기에서의 열회수율과 투자비 상환기간의 변화

A : 열회수율 η

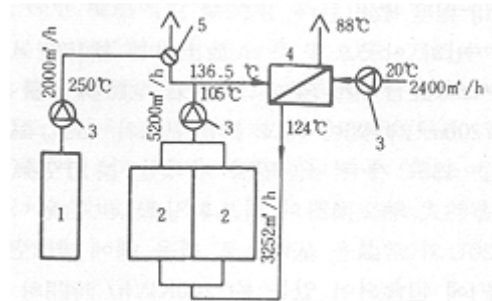
B : 공급공기량과 배출공기량의 비 X(%)

C : 투자비의 상환기간[월]

더 이상의 필요한 가정은 열교환기의 투자비인 70,000 독일 마르크(2,100만원)와 차관에 대한 연이율 7.5%를 매월 지급하는 것과 이자의 지불문제, 0.055독일마르크(16.5원) 1KWh의 에너지 가격, 그리고 실제적인 연간 사용시간인 3,000시간/년 들이다.

그림 9의 그래프는 열교환기가 가능한 한 설계투자대로 작동되는 것이 얼마만

큼 중요한가를 보여준다.



< 그림 9 > Artos 패드-건조 염색기에 부착된 배출공기로부터
회수하는 열회수장치

- | | |
|-------------|------------|
| 1. 적외선 건조지역 | 2. 열풍환류건조기 |
| 3. 팬 | 4. 열교환기 |
| | 5. 역밸브 |

만약 공급되는 공기량이 배출되는 공기의 양보다 적을 경우 (즉 $X < 1$), 열회수율은 급격하게 감소되고 따라서 투자비의 상환시기는 연장된다.

또 다른 예가 에너지를 절감하는 모든 가능한 방법이 경제학적인 용어로서는 결코 아무런 의미를 갖지 못한다는 것을 보여주기 위하여 들어질 것이다.

투자액수가 많건 적건간에 열회수장치에 투자를 하기 전에는 우선 투자비의 상환시간의 계산이 항상 이루어져야만 한다.

다. 패드-건조기로부터의 열회수

이 기계는 더머줄 공정에 들어가기 전에 폴리에스테르계나 폴리에스테르/면 혼방사로 만들어진 직물이나 편성물을 패드하여 건조하는 데에 사용된다. 지금부터 얘기하고자 하는 건조기는 하나의 적외선 건조기와 2대의 열풍환류건조기로 이루어져 있다. 적외선 건조기는 보통 개스-방열기로 작동되기도 한다.

직물을 건조시키는 적외선 방사에너지는 실제로는 50~60%의 효율로 방사된다. 적외선 방사에너지로 변환되지 못한 에너지와 직물이 건조기사이를 통과하면서 직물로부터 증발된 수분은 약 2000m³/ 시간 정도의 새로 도입되는 신선한 공기에 의하여 유출되어야 한다. 이때 배출되는 공기의 평균온도는 약 250°C이다.

2대의 열풍환류건조기에서는 150°C의 평균온도를 갖는 배출공기를 평균 5200m³/ 시간 정도 방출한다.

만약 이곳으로부터 방출되는 배출공기가 서로 혼합하게 되면 그 결과 전체배기량은 7200m³/ 시간이 되고 배출공기의 혼합온도는 136°C가 된다. 만약 이러한 배출공기가 축열식 열교환기의 히트휠로 공급된다면 20°C의 상온을 기준으로 했을 때에 배출공기내에 포함되어 있는 약 200KWh/시간의 에너지 중 약 84KWh/시간의 에너지를 회수할 수 있게 되며 이 에너지는 20°C에서 열풍환류건조기로 공급되어지는 약 2400m³/ 시간의 신선한 공기로 전달된다.

이때의 열회수율은 약 42%이다. 직물의 출입구와 도저히 피할 수 없는 기계의 틈새로 공기가 새어 들어가기 때문에, 20°C로 다시 계산하였을 때에 신선한 공기의 양은 열풍환류건조기에서 배출되는 공기의 약 60%가 된다. 2400m³/ 시간의 신선한 공기는 열교환기의 히트휠을 통하여 20°C로부터 124°C로 가열된다. 회수된 84KWh/시간의 열에너지는 열회수장치를 사용하지 않고 열풍환류건조기에서 공기를 가열하는 데에 필요한 열에너지의 57%에 해당된다.

그림 9는 열회수장치의 설계도이다. 적외선 건조기와 열풍환류건조기에서 방출되는 배출공기는 기계의 배출공기가 배출되는 노즐과 연결되어 있는 수집파이프를 통하여 일반적인 배기팬이 보다 강력한 것으로 대체된 축열식 열교환기의 히트휠로 연결된다. 축열회전체의 회전에 의하여 열교환 휠(wheel)은 배출공기로부터 일부의 열을 신선한 공기쪽으로 옮겨준다. 신선한 공기는 팬에 의하여 히트휠을 강제로 통과하게 되고 그곳으로부터 다시 열풍환류건조기 부분의 신

선한 공기가 들어가는 덕트쪽으로 공급된다. 건조기가 갑자기 작동을 멈추거나 적외선 방사건조기내부의 온도가 허용치보다 높아질 경우에는 적외선 방사건조기로부터 배출되는 공기량은 약 6000m³/ 시간 정도로 증가하게 된다. 그러한 경우에 적외선 건조기로부터 방출되는 배출공기는 히트휠일속으로 공급되지 않고, 역자동밸브를 통하여 대기속으로 방출된다.

에너지 가격이 0.055독일마르크(16.5원)/KWh 일 때에 회수된 에너지량 84KWh/시간은 4.64 독일마르크(1,392원)의 값어치가 있게 된다. 연간 실제 유효 작동시간을 3,000 시간이라고 가정한다면, 이 양은 연간 13,900독일마르크(417만원)의 에너지 비용절감에 해당된다.

열회수장치의 가격 50,000독일마르크(1500만원)에다가 설치비용 등으로 15,000독일마르크(450만원)의 추가비용이 들게 된다. 따라서 회수되어야 할 전체 투자비용은 65,000독일마르크(1,950만원)가 된다.

그 장치의 수명을 10년이라고 가정하고 연이율을 7.5%로 계산하면 그 결과 연간 투자액은 9,259독일마르크(2,777,700원)가 된다. 연간 보수비용은 외형투자액의 약 3%인 1,500독일마르크(45만원)이다. 히트휠일과 팬을 작동시키기 위하여 추가로 소요되는 전력을 3.4 KW 라고 하고 , 이때의 전력비를 0.16독일마르크(48원)/KWh라고 하면, 운전비용은 연간 1,632독일마르크(489,600원)가 된다. 따라서 연간 소요되는 전체비용은 12,391 독일마르크(3,717,300원)라는 계산결과가 나온다. 연간 실제 이익인 1,509 독일 마르크(452,700원) 는 매우 낮은 수준이다.

투자비용의 상환기간은 아래 공식을 사용하여 결정할 수가 있다.

$$N = -\frac{\ln(1-i\frac{J}{E})}{\ln(1+i)} \quad (\text{개월})$$

J : 투자액[마르크]

E : 비용 절감액[마르크/월]

I : 연이율 % / 1200

우리가 고찰하는 이러한 경우에 있어서 위의 공식에 의한 계산결과 투자비용의 상환기간은 8년이 된다.

만약 기계의 틈새로 새어 들어가는 공기는 제쳐놓고서라도, 기계로 공급되는 공기량을 배출공기의 75%까지 증가시킬 수 있다면 투자비용의 상환기간은 6.3년으로 단축된다. 비록 이 기간이 열회수장치가 정상적인 기능을 발달할 수 있는 기간인 10년 이내이긴 하지만 이런 장치의 설치는 단지 특수한 경우에만 권장할 수가 있다.

가공공장에서 사용할 수 있는 방법중에는 투자비용을 좀더 빨리 상환할 수 있으면서도, 더욱 높은 에너지 비용절감효과를 가져올 수 있는 보다 효과적인 다른 방법이 얼마든지 있다.