

섬유공업의 열관리

1. 서 언

우리나라의 산업용 연료의 주종을 이루고 있는 B-C유를 업종별로 소비구조를 분석해 보면 섬유공업이 20.4%로 그 사용량은 $6598 \times 10^3 \text{Bbl}$ 에 달한다. 일반적으로 섬유공업은 전력, 증기, 용수 등 다량의 에너지를 소비하고 있기 때문에 막대한 에너지를 쓰고 있음을 쉽게 알 수 있다. 한편 에너지 가격은 날로 폭등하여 73년 이후 4~5배 이상 올라 각 기업에서의 제조원가 중 에너지비의 비중도 높아가고 있다. 이러한 상황에서 섬유공업의 열관리는 국가적 이원의 에너지 절약 효과면에서나 기업의 경영수지개선과 수출경쟁력 강화를 위하여 중요한 문제로 인식되고 있으며 우리나라를 수출입국으로 만드는데 주도적인 역할을 해 온 섬유공업계의 모든 종업원들의 노고가 매우 크다 하겠다.

섬유공업의 열관리 수준은 화섬공업 등 일부 대기업은 초보적인 단계를 벗어나 제 2의 단계로 향상되어 가고 있다고 볼 수 있으나 섬유공업의 대부분을 차지하는 중소기업은 아직도 에너지 절감요인이 상당히 있음을 알 수 있다.

한국열관리협회에서 1977년도에 실시한 300개 업체의 열관리 진단결과에 의하면 총평균 기대효과는 6.7%로 나타났으나 업종별 기대효과를 보면 섬유가 13.9%로 가장 큰 결과를 보였으며 연간 약 16,480kal가 절약이 가능함을 말해주고 있어 섬유공업의 좀더 철저한 열관리가 필요하다고 보겠다.

2. 에너지시스템별 문제점 및 대책

일반적인 섬유공장의 에너지 시스템은 열발생 시스템, 열수송 시스템, 배

열회수 시스템 등 4개의 sub-system으로 되어 있는데 이를 고려해 보면 열사용 시스템에서 사용되고 있는 각종 열설비는 외국의 선진국에서 엔지니어링되고 제작되고 열효율이 높은 편이나 열발생시스템의 보일러와 수송시스템인 증기라인은 열관리상 문제가 많다 하겠다. 각 열설비를 열정산하여 열효율을 아는 것도 중요하지만 우리는 에너지 시스템 전체의 효율을 알고 이를 提高하기 위한 대책을 종합적으로 대립하여야 한다. 시스템 전체의 효율을 y_s 라 하고 각 Sub-system의 효율을 y_{s1} , y_{s2} , y_{s3} , y_{s4} 라 하면 공장 에너지 시스템의 효율 즉 System Efficiency는

$y_s = y_{s1} \times y_{s2} \times y_{s3} \times y_{s4}$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 Material balance는 제외하고 효율만을 생각해 보자.

열발생시스템효율 = 75 ~ 85%

열수송시스템효율 = 90 ~ 95%

열사용시스템효율 = 15 ~ 30%

배열회수시스템 = 80 ~ 90%로 각각 판정할 경우 「closed Energy System」의 효율은

$$y_{sI} = 0.75 \times 0.9 \times 0.15 \times 0.8 = 0.81$$

$$y_{sII} = 0.85 \times 0.95 \times 0.30 \times 0.9 = 0.218$$

로 나타나 평균 8.1~21.8%로 매우 낮음을 알 수 있다.

그러므로 시스템 전체의 효율을 제고하여야 하며 이는 Sub-system의 효율을 올려서 전체효율을 높게 하여야 한다.

그러면 Sub-system 별로 열효율을 올리기 위한 주요항목과 대책, 시행상 문제점들을 간략하게 기술하고자 한다.

A. 열발생시스템

이 시스템에서 사용되는 설비는 증기 보일러 및 열 매체 보일러 등이 있으나 증기 보일러에 대해서 알아보자. 보일러의 효율측정에는 직접식과 간접식이 있다. 직접식은 간단히 INPUT와 OUTPUT로서 열효율을 알 수 있으나 로스(Loss)를 원인별로 파악할 수 없기 때문에 열정산은 간접법에 의한 방법(한국공업규격 KSB 6205)으로 실시된다.

1976년도 235대, 1977년도 366대의 보일러를 성능시험한 결과 출열분석치의 결과는 위와 같다.

위의 결과와 같이 아직도 우리나라의 보일러 효율은 油類專焼임에도 불구하고 80%선을 넘지 못하고 있다. 형식승인 된 보일러로 대체할 경우 약 10% 정도를 절감할 수 있다 하겠다. '77년도의 경우 효율이 85% 이상되는 보일러는 12%에 그치고 있다. 여기서 우리는 노후되고 저효율의 보일러는 경제성을 검토하여 즉시 형식승인 된 보일러로 대체하여야 하며 용량선정에는 신중을 기하여 동하절 및 생산조건 등을 감안하여 어느 계절이라도 보일러 부하율을 80%선이상 유지시켜 높은 효율로 운전토록 해야 할 것이다.

출열분석치에서 보는 바와 같이 1항은 유효열이며 나머지2~5항은 손실열이다. 열효율의 제고는 손실열을 줄이는 데서 이루어진다.

<표 1> 보일러의 출열 분석치(%)

項	目	1976	1977
1.	發生蒸氣의 保有熱	77.6	77.4
2.	乾排가스에 의한 熱損失	10.0	10.4
3.	排氣中 水蒸氣에 의한 "	1.6	1.4
4.	不完全 燃燒에 의한 "	0.9	0.4
5.	放熱 및 其他에 의한 "	9.9	10.4
	計	100.0	100.0

가) 乾排가스에 의한 손실열

이 손실은 최소 3.0%에서 최대 37.2%로 나타났고 보일러 열손실 중 가장 큰 손실이므로 이의 열회수가 중요한 문제이다. 이 손실의 원인은 3가지로 대분된다.

① 排가스 온도

이 排가스 온도가 손실의 가장 큰 요인을 차지하고 있다. 공기에열기가 없는 경우 평균 排가스 온도는 292℃로 나타났고 A/H가 있는 경우는 217℃로 나타나 공기에열기로 排가스온도를 평균 75℃를 떨어뜨린 셈이다. 즉 약 2.7%의 배열을 회수한 결과이나 아직도 상당한 열을 회수할 수 있다. 배열은 가능한 한 최대한 낮추는 것이 최선의 방법이다. 공기에열기가 흡수한 열은 순환열이며 연소용 공기의 온도를 상승시켜 연소효율을 올릴 수 있으므로 A/H의 출구측 가스 온도는 최대한 낮추어야 한다. 그러나 油類專燒에는 중유속의 유황분에 의하여 제한을 크게 받는다. 배가스 온도는 200℃, 180℃등 여러가지로 이야기 되고 있지만 결론은 발열은 최대한 하고 배가스 중의 SO₂로 인한 露點生成에 의한 재질부식을 방지하면 된다. 가장 중요한 것은 재질의 온도이다. 또한 재질이 무엇인가에 따라 다르다. 부식방지금속(Anti-corrosion metal)은 그 온도가 내려가도 부식이 쉽게 발생되지 않는다. 탄소강이 일반적으로 많이 쓰이며 112~113℃에서 부식이 발생된다. 그러므로 재질의 온도를 120℃ 정도로 일정히 유지시켜 주어야 한다. 가장 적정한 배가스 온도는 150℃로 하는 것이 바람직하다. 여기서 우리는 A/H의 냉단측 재질의 온도를 평균 120℃로 유지시켜 주어야 되는데 공기측 A/H 입구온도는 실온의 30℃정도이다. 이때 배가스 온도가 150℃이면 $\frac{150+30}{2}=90^{\circ}\text{C}$ 가 된다. 또한 배가스 온도가 180℃이면 $\frac{180+30}{2}=105^{\circ}\text{C}$ 이므로 역시 부식이 발생한다.

120°C를 유지하기 위해선 $\frac{210+30}{2}=120^{\circ}\text{C}$ 이므로 배가스 온도를 210°C로 해야 된다. 그러나 배가스 210°C와 150°C는 60°C의 차이가 나며 2.3%의 열회수면에서 손해를 보는 셈이므로 30°C의 공기를 스팀 에어 히터(SAH)로 가열하여 A/H에 넣어 냉단측 평균온도를 120°C만 유지시켜 주면 된다. SAH에 들어가는 열 역시 순화열이고 미세한 열손실이 있을 뿐이다. 결론적으로 말한다면 A/H에 들어가는 공기를 예열하고 배가스 온도를 최대한으로 떨어뜨려 냉단측 평균온도를 120°C로 유지하여 배가스열을 최대한으로 회수하여야 한다. 또한 가동시 등의 저부하시를 대비하여 바이-패스라인을 반드시 설치해야 한다. 물론 온도계 댐퍼 위치표시기, Draftgage등을 설치하고 슈트 블로잉 등 관리면에서 안전을 기하여야 함은 말할 것도 없다.

② 과잉공기

연소가 이루어지는 고온속의 爐內에 불필요한 연소용 냉공기를 넣는 것은 爐內온도를 떨어뜨리는 동시에 배가스 손실열량을 늘려준다. 일반적으로 공기비(m)를 1.20으로 운전하는 것을 표준으로 삼고 있으나 실제로 표준치 이하로 운전하는 곳은 17.4%에 불과하다. 공기비(m)가 1.20일 때 CO₂는 12.7%이상, O₂는 3.7%, CO는 0%이다. 버너 및 공기분산판의 관리를 철저히 하여 m을 가능한 한 낮추고 CO₂ 분석치를 올려야 한다.

특히 주의할 것은 공기댐퍼의 Memory를 세분화하고 조작을 齒車式으로 하는 것이 바람직하다.

③ 爐壓調節

Pressurized Furnace에서의 로압조절은 연소관리 뿐만 아니라 배가스 온도에도 적지 않은 영향을 미치고 있다. 평형통풍식의 보일러를 제외한 대부분의 압입통풍식 보일러에서는 연소용 공기만을 조절하고 배가스 덕트는 완전개방(Wide Opening)한 채 운전하고 있기 때문에 爐內에서의 충분한 연소시간을

주지 못한 채 Flue 가스가 나가버려 전열효율을 낮추고 배가스 온도가 높게 示顯된다. 또한 석탄연소하던 보일러의 연돌을 중유전소시에도 대부분 그대로 사용하고 있어 과대한 흡인력으로 인하여 도의 배가스 드래프트가 과도하게 높게 운전된다.

또한 배가스 덕트의 댐퍼를 부하에 관계없이 개방한 채로 운전되기 때문에 로압의 변동이 심하여 안정된 연소를 이룰 수가 없다. 그러므로 배가스 덕트의 댐퍼에 눈금을 세밀하게 하고 適正個所에 드래프트 게이지를 설치하고 가장 알맞은 로압을 유지하도록 배가스측 댐퍼를 조절해 주어야 한다. 이렇게 운전할 경우 CO₂의 상승과 전열효율이 높아져 배가스 온도가 낮아지게 된다.

나) 배기 중 수증기에 의한 열손실

연료유 중의 수분은 여소효율의 저하 뿐 아니라 증발열손실로 보일러 효율과 함께 시스템 효율에 미치는 영향이 적지 않아 某會社の 경우 수분의 함량이 0.1% 변화시 보일러 효율이 0.47% 달라지는 결과를 가져오는 것까지 주의깊게 관리하고 있다. 즉 연료유 저장탱크와 서비스 랭크에서의 배수관리가 보다 철저히 시행되어야 할 것이다.

다) 불완전연소에 의한 열손실

과잉공기를 표준치 이하로 투입하는 곳이 17.4%이며 나머지는 이보다 높게 운전하는데도 불완전연소가 발생하여 열손실을 내는 곳이 많다.

완전연소에 필수적인 사항은 아래와 같다.

a) 버너에 분사되는 연료유의 압력은 항시 일정하게 유지되어야 하며 Steam jet의 경우 제작자가 요구한 유압과 보사증기압의 차는 일정히 유지되도록 운전에 유의해야 한다.

b) 연료유 탱크에서의 수분제거를 철저히 해야 한다.

c) 연료유 중의 불순물이나 찌꺼기 등은 버너 전에 40~60mesh 정도의 스트레이너를 설치하여 반드시 제거하여야 하며 차압이 0.3kg/cm²에서 청소를 시행하도록 해야 한다.

d) 연료유 공급라인(저장탱크포함)에서의 가열은 수송에 알맞은 점도(5,000SSU)에 해당하는 40~45℃정도로만 가열하고 최종가열기에서 버너의 분사형식에 적절한 점도가 이루어지도록 가열해야 한다.(표 2 참고)

이것은 연료유가 국부가열이 되고 탄화로 인한 『Carbon deposit』가 노즐에서의 연소패턴에 영향을 주고 다량의 슈-트를 발생케 하는 원인이 되기 때문이다.

<표 2> 버너 종류별 適正油溫

분 사 형 식	粘度(SSU)	B-C油溫度
蒸氣噴射式	200	88
機械噴射式	150	93
機械噴射式	100	104
로우터리 버너	750	63~75
低壓空氣噴射式	150	93

e) 버너의 운전관리에 유의하고 항상 청결한 상태에서 분사가 이루어지도록 해야 하며 버너 소화시에는 반드시 청소를 실시해야 한다.

f) 공기다트 및 공기분산판의 청소 및 점검을 주기적으로 실시한다.

g) 爐의 공기 유입구, 가스누출구, 점화구,Peep hole등을 밀폐하여 爐內에서의 공기 및 Flue gas의 흐름을 안정하게 유지시켜 주어야 한다.

h) 『Pressurized Furnace』에서의 가스 누설(Gas leakage)이 발생하는 것은 연소에 큰 영향을 주고 爐壓調節에도 문제가 된다. 압축은 반드시 계수에 의하여 컨트롤 되어져야 한다.

i) 화염관리를 철저히 하여 화염이 수관이나 爐壁을 때리지 않도록 해야 한다.

라) 放熱 및 기타에 의한 열손실

보존관리를 철저히 하여 가스누출 등이 없도록 하고 爐壁의 표면온도가 대부분 50~65°C정도이므로 보일러 설치시 단열을 강화시키는 것이 경제적이다. A/H출구측 공기덕트의 보온이 약한 곳은 이를 강화해야 한다.

마) 급수의 예 열

급수는 가능한 한 드레인을 회수하여 높이고 낮을 때는 가열해서 보일러 드럼에 급수하여 물의 증발속도를 올리고 용량을 늘리는 동시에 수위변동 및 드럼압력의 변화를 막는 것이 좋다.

드럼수위 역시 1/2~3/5 사이에서 일정하게 유지시켜 주는 것이 바람직하다.

B. 열수송 시스템

이 시스템은 바로 보일러에서 발생한 스팀을 사용설비로 보내주는 스팀 파이프라인이다.

단순히 수송파이프로 소홀히 취급하기가 쉽다. 그러나 이 길은工場 크기에 따라 몇 백 미터에서 몇 천 미터에 이르고 있으며 여기서 나온 방열손실은 막대하다. 이미 미국에서는 에너지 쇼크 이전에 경제적 보온두께로 시공하여 보온효율(Insulation Efficiency)이 85~90% 정도였으나 현재는 보온재두께를 2배로 하여도 그 경제적 효과가 크고 관심도가 높아 카터 美大統領의 에너지 정책도 언급된 바 있다.

그러나 우리나라는 발브나 Fitting류는 보온도 하지않고 파이프의 보온 효율 역시 약 60~80%선에 머무르고 있었으며 일부 업체에서는 상당히 보온을 보장하고 있으나 대체로 未盡하다 하겠다. 이제 보온의 중요성을 알고 파이프

프의 프렌지가 완전히 씹워지도록 모든 스팀라인은 보온이 강화되어야 하겠다. 또한 열사용 설비전의 보온이 미약할 경우 라인에서 발생한 응축수는 잠열을 뺏기고 열교환기에 들어가므로 열교환능력을 떨어뜨리기 때문에 조작시간에 지장을 주게 되어 생산성에 영향을 미치므로 보일러에서 汽水共發現象(Carry-Over Phenomenon)을 막는 동시에 主蒸氣管과 설비전에 『Drip leg』를 만들고 트랩을 설치하여 라인의 드레인도 가능한 한 제거하여야 한다.

조업의 간헐성과 Shut-down 등으로 인한 응축으로 생기는 再送氣時의 水擊作用(Water-Hammering)도 방지함은 물론이고 파이프의 勾配도 적정히 주고 파이프 지지대도 파이팅 핸드북에 의하여 충분히 설치해 주도록 하여야 한다.

C. 열사용 시스템

이 시스템에서 사용되는 열설비의 종류는 매우 다양하다. 건조기, 염색기, 건조탑, Washing Tower, Evaporator 등 매우 많으므로 설비별로의 열관리방법은 생략하기로 한다.

그러나 이 시스템에서의 주요 개선방향은 다음과 같다. 이것 역시 열정산을 통하여 보완투자에 따른 경제성 검토도 물론 필요하지만 에너지가 고가인 지금은 대부분 1년 이내에 투자비가 상탈되고 있다.

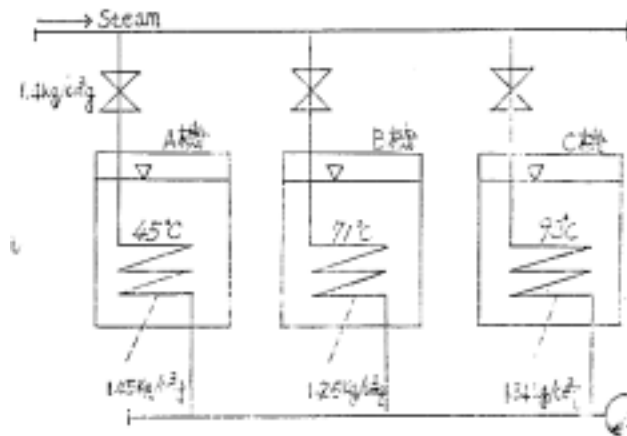
① 공정발열수의 배열은 판형 열교환기(Plate Heat Exchanger) 등을 설치하여 회수하여야 한다.

② 응축수는 완전히 회수하여야 한다. 아직도 이 효과가 미약한 것으로 알고 등한시 하는 곳이 많다. 그러나 잠열을 뺏긴 응축수의 열량이 100Kcal/kg 이라고 하자. 이것을 발생하기 위한 열량은 보일러 효율이 80%일 때 125Kcal가 소요됨을 알 수 있다.

- ③ 배기로 나가는 열량을 댐퍼에 의한 계수화조절을 실시하여 감소시킨다.
- ④ 냉각용으로 들어간 물이 승온되어 나온 것을 그냥 버리는 곳이 있으나 온도차는 적으나 양적으로 장점이 크므로 회수하여야 한다.
- ⑤ 설비 방열손실을 줄이기 위하여 단열을 강화한다.
- ⑥ 공정용 스팀이 여러 압력별(예를 들어 10kg/cm²g, 6kg/cm²g, 3kg/cm²g 등과 같이)로 필요로 하는 경우에는 1차 고압으로 열교환한 응축수를 프래쉬 탱크에 넣어 여기서 재증발시켜 2차압력으로 사용하여 2차, 3차에 소요되는 증기량을 감소시키는 Fall-down방식을 채택해야 한다. 제지공장에서는 대부분 이러한 시스템을 이용하고 있다.
- ⑦ 스팀의 공급이 끊어지고 모든 장치들이 냉각되면 내부의 스팀이 응축되어 부분적으로 진공이 형성된다. 이때 공기가 그랜드나 漏氣部分으로 들어가 진공에 의한 공간에 차게 되고 이 공기는 열전도율이 물의 2.45%에 지나지 않아 열교환에 악영향을 주므로 적절한 장소에서 공기를 빼내주도록 Air vent를 설치하고 관리해야 한다.
- ⑧ 적정용량의 트랩을 설치하고 주기적인 점검으로 바이패스 운전을 지상으로 하는 것도 상당히 중요하지만 한 개의 큰 트랩으로 여러 설비를 함께 트랩핑하여 사용하여 열교환 능력을 떨어뜨리는 일이 많다. 아래 그림은 단면적으로 이를 나타내는 것이며 난방관계를 이렇게 하여 실온이 오르지 않아 종업원들이 고생하는 것을 많이 볼 수 있다. 이러한 문제를 막는 방법은 각 설비마다 적정용량의 트랩을 분리하여 설치해야 한다.
- ⑨ 공정의 증기압력이 적정한지를 검토해야 한다. 압력이 높으면 방열손실이 커지고 이 여분이 열량은 회수가 어려우며 장시간이 계속될 때의 열량은 적은 것이 아니고 적정온도일 때는 고온으로 인한 제품의 질을 저하시키는 것을 최소화할 수 있다.

⑩ 기타 필요이상의 건조방지, 운전의 합리화, 부하변동의 감소, 제조공법의 개선 등 여러가지 관점에서 열을 절감할 수 있는 방법을 모색하여야 할 것이다.

그룹트래핑의 예



D. 배열회수 시스템

여기서는 응축수를 보일러로 이송시키는 라인에 대해서 언급코자 한다.

응축수의 회수율은 아직도 미흡한 편이다. 섬유업체에서 드레인 회수로 인한 절감예상효과는 평균 2.2~3.4%로 보고 있다. 상당한 양이다. 간접가열로 열교환 된 드레인은 오염되지 않는 한 전량회수하여 사용하는 것이 필수적이다. 이것은 드레인 자체의 열과 순수를 이용하기 때문에 그 가치가 크므로 보일러 급수나 보일러실이 먼곳은 공정에서 재이용할 수 있다. 스팀 압력에 의하여 트랩속의 드레인을 회수하는 것은 가능하며 드레인 탱크를 설치하여 펌핑할 수 있다. 드레인 탱크의 용량은 펌프 용량의 2배정도가 알맞다.

드레인 탱크와 모든 드레인 라인은 완전보온을 하여야 하며 펌프의 고장으로 공정상 문제점이 일어나고 드레인이 버리게 되기 쉬우므로 예비 펌프

를 설치해야 한다.

탱크의 벤트관으로 나가는 증기의 열을 회수하기 위하여 보충수를 분사시키는 Vent condenser를 설치하는 것이 좋으며 보일러 급수탱크와 라인도 전부 보온하여야 한다.

3. 토탈 에너지 시스템의 적용

대체로 섬유공장은 전력에너지와 스팀에너지를 많이 사용하고 있으나 전력은 30~35%의 열효율로 발전소에서 발전되어 공장에 이르기까지 9.3%의 송전로스를 갖는다. 공장에 들어와 전동기, 전정, 전열기의 전원으로 이용되고 있다. 스팀은 평균 78%의 효율을 가진 보일러에서 발생시켜 공정의 가열원으로 사용된다. 현재와 같은 시스템은 한 공장에서 전력과 스팀이 각기 다른 시스템으로 되어 있으며 이런 시스템은 Non-Total Energy System이라 하며 시스템효율이 낮다. 그러나 어느 정도 전력과 스팀사용량이 많은 섬유, 제지, 펄프, 비료, 석유화학 공장에선 공장내에 『Industrial Power Plant』를 설치하고 보일러에서 고압의 증기를 발생하여 터빈에서 공정에 필요한 스팀을 압력별로 추기(Extraction)하는 동시에 전기를 발생시켜 공장에 공급하는 것이다.

이와 같은 Total Energy System을 도입하기 위해서는 열병합발전장치에 대한 투자가 크게 필요하다. 그러나 전력은 副産되는 관계로 상용발전소에서 1kwh생산시 2200~2600kcal가 소비되나 열병합발전시는 1100~1200kcal 정도만 소요되므로 廉價의 전력을 얻는다. 발전효율도 상용발전보다 훨씬 높은 70~80%선을 유지하고 투자 회수기간도 2~3년이면 가능한 경제성을 갖고 있으며 열료자원의 이용을 극대화 시킬 수 있다. 이것은 우리 산업의 부가가치를 높이는 것으로 적용용량은 200~200,000KW 정도이나 우리나라는 보통 2,000~15,000KW가 산업에 적합할 것이다. 또한 공장가동율의 제고, 원가절하,

생산성의 향상 등 여러가지 부가 효과가 많으므로 앞으로 섬유공업의 장기 에너지 대책은 당연히 Total Energy System을 채택하여야 할 것이다.

4. 결 언

섬유공업의 열관리진단 결과를 토대로 섬유공업의 열관리 단기대책으로는 2항의 “에너지 시스템별 문제점과 대책”에 기술한 제반 열관리의 강화로서 가능하며 이는 비교적 적은 투자에 비하여 무엇보다 경제성이 좋으므로 조속한 시행이 촉구된다.

거시적인 안목으로 볼 때 섬유공업의 향후 에너지대책은 필연적으로 토털 에너지 시스템을 채택하여 공장의 에너지 시스템의 효율을 대폭적으로 제고시키는 방안이 적극 추진되어야 할 것이다. 열관리란 조그만 열손실 방지에 서부터 시작되며

- ① 열관리의 연속성과 중요성의 인식
- ② 경영진의 적극적인 뒷받침과 투자
- ③ 전종업원의 참여
- ④ 열관리기술의 도입 및 기술자 자질향상으로서 완전한 열관리가 이루어 진다 하겠다.

끝으로 우리나라 섬유공업의 열관리도 하루속히 국제수준에 도달하여 열의 손실이 없는 효율적인 이용이 이루어지길 바라며 섬유공업계의 변책 촉구하는 바이다.